



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Udmattelsesforsøg med laminerede limtræbjælker. Delrapport 17: Materialeprøvning af serie L, M og N

Hansen, Lars Pilegaard; Rathkjen, Arne

Publication date:
1993

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):
Hansen, L. P., & Rathkjen, A. (1993). *Udmattelsesforsøg med laminerede limtræbjælker. Delrapport 17: Materialeprøvning af serie L, M og N*. Aalborg Universitetsforlag. R : Institut for Bygningsteknik, Aalborg Universitet Nr. R9347

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

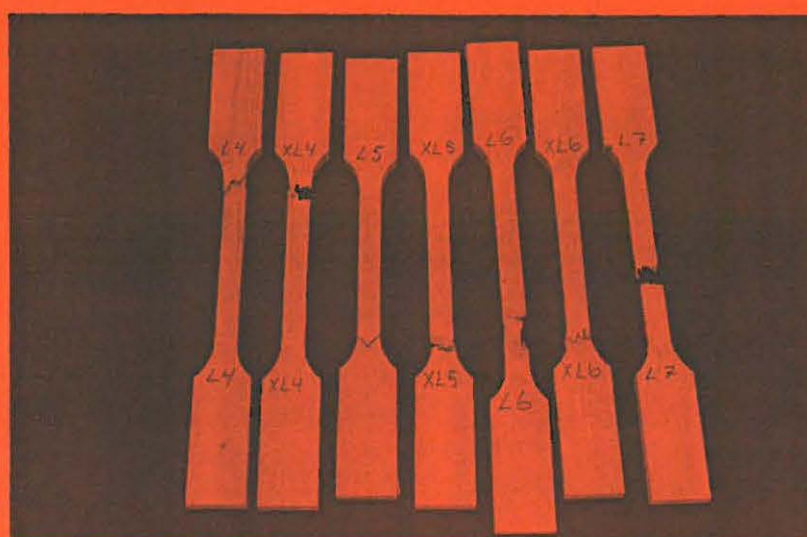
- ? Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- ? You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- ? You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

INSTITUTTET FOR BYGNINGSTEKNIK

DEPT. OF BUILDING TECHNOLOGY AND STRUCTURAL ENGINEERING
AALBORG UNIVERSITETSCENTER • AUC • AALBORG • DANMARK



L. PILEGAARD HANSEN & A. RATHKJEN

UDMATTELSESFORSØG MED LAMINEREDE LIMTRÆBJÆLKER

DELRAPPORT 17: MATERIALEPRØVNING AF SERIE L, M OG N

DECEMBER 1993

ISSN 0902-7513 R9347

1. The first step in the process is to identify the problem or issue that needs to be addressed.

2. The second step is to gather information and data related to the problem.

3. The third step is to analyze the information and data to identify the root cause of the problem.

4. The fourth step is to develop a plan of action to address the problem.

5. The fifth step is to implement the plan of action and monitor the results.

6. The sixth step is to evaluate the results and make adjustments as needed.

7. The seventh step is to document the process and results for future reference.

8. The eighth step is to communicate the results to the relevant stakeholders.

9. The ninth step is to review the process and make improvements as needed.

10. The tenth step is to ensure that the problem is resolved and the process is completed.

11. The eleventh step is to ensure that the results are sustainable and long-lasting.

12. The twelfth step is to ensure that the process is repeatable and can be used for future problems.

13. The thirteenth step is to ensure that the process is transparent and accountable.

14. The fourteenth step is to ensure that the process is flexible and adaptable to changing circumstances.

15. The fifteenth step is to ensure that the process is efficient and effective.

16. The sixteenth step is to ensure that the process is cost-effective and provides value for money.

17. The seventeenth step is to ensure that the process is compliant with relevant laws and regulations.

18. The eighteenth step is to ensure that the process is ethical and follows best practices.

19. The nineteenth step is to ensure that the process is scalable and can be applied to other situations.

20. The twentieth step is to ensure that the process is continuously improved and updated as needed.

21. The twenty-first step is to ensure that the process is well-documented and easy to follow.

22. The twenty-second step is to ensure that the process is well-communicated and understood by all stakeholders.

23. The twenty-third step is to ensure that the process is well-monitored and controlled.

24. The twenty-fourth step is to ensure that the process is well-evaluated and reviewed.

25. The twenty-fifth step is to ensure that the process is well-implemented and executed.

26. The twenty-sixth step is to ensure that the process is well-maintained and supported.

27. The twenty-seventh step is to ensure that the process is well-communicated and understood by all stakeholders.

28. The twenty-eighth step is to ensure that the process is well-monitored and controlled.

29. The twenty-ninth step is to ensure that the process is well-evaluated and reviewed.

30. The thirtieth step is to ensure that the process is well-implemented and executed.

31. The thirty-first step is to ensure that the process is well-maintained and supported.

32. The thirty-second step is to ensure that the process is well-communicated and understood by all stakeholders.

33. The thirty-third step is to ensure that the process is well-monitored and controlled.

34. The thirty-fourth step is to ensure that the process is well-evaluated and reviewed.

35. The thirty-fifth step is to ensure that the process is well-implemented and executed.

36. The thirty-sixth step is to ensure that the process is well-maintained and supported.

37. The thirty-seventh step is to ensure that the process is well-communicated and understood by all stakeholders.

38. The thirty-eighth step is to ensure that the process is well-monitored and controlled.

39. The thirty-ninth step is to ensure that the process is well-evaluated and reviewed.

40. The fortieth step is to ensure that the process is well-implemented and executed.

41. The forty-first step is to ensure that the process is well-maintained and supported.

42. The forty-second step is to ensure that the process is well-communicated and understood by all stakeholders.

43. The forty-third step is to ensure that the process is well-monitored and controlled.

44. The forty-fourth step is to ensure that the process is well-evaluated and reviewed.

45. The forty-fifth step is to ensure that the process is well-implemented and executed.

46. The forty-sixth step is to ensure that the process is well-maintained and supported.

47. The forty-seventh step is to ensure that the process is well-communicated and understood by all stakeholders.

48. The forty-eighth step is to ensure that the process is well-monitored and controlled.

49. The forty-ninth step is to ensure that the process is well-evaluated and reviewed.

50. The fiftieth step is to ensure that the process is well-implemented and executed.

INSTITUTTET FOR BYGNINGSTEKNIK

DEPT. OF BUILDING TECHNOLOGY AND STRUCTURAL ENGINEERING
AALBORG UNIVERSITETSCENTER • AUC • AALBORG • DANMARK

L. PILEGAARD HANSEN & A. RATHKJEN

UDMATTELSESFORSØG MED LAMINEREDE LIMTRÆBJÆLKER

DELRAPPORT 17: MATERIALEPRØVNING AF SERIE L, M OG N

DECEMBER 1993

ISSN 0902-7513 R9347

INDHOLDSFORTEGNELSE

1.	INDLEDNING.....	1
2.	PRØVELEGEMER.....	1
3.	FORSØGSOPSTILLINGER OG FORSØGSAFVIKLING.....	1
4.	MÅLERESULTATER.....	2
4.1	Forsøgsresultater for serie L.....	3
4.1.1	Trykprøvning.....	3
4.1.2	Trækprøvning.....	7
4.2	Forsøgsresultater for serie M.....	15
4.2.1	Trykprøvning.....	15
4.2.2	Trækprøvning.....	19
4.3	Forsøgsresultater for serie N.....	26
4.3.1	Trykprøvning.....	26
4.3.2	Trækprøvning.....	29
5.	SAMMENFATNING.....	35
5.1	Trykforsøgene.....	35
5.2	Trækforsøgene.....	37
5.3	Sammenligninger mellem tryk- og trækforsøg.....	39
6.	REFERENCER.....	40

1. INDLEDNING

Laminerede limtræsbjælkers udmattelsesegenskaber er undersøgt i en række forsøg i årene 1987 - 1993. De første indledende forsøg, udført i 1987 - 1989, er rapporteret i [1], mens de resterende forsøg behandles i nærværende rapport: "Udmattelsesforsøg med laminerede limtræsbjælker". Rapporten er delt i følgende delrapporter:

Delrapport 1:	Forsøgsbeskrivelse
Delrapport 2-11:	Prøvning af serie A - K
Delrapport 12:	Materialeprøvninger for serie A - K
Delrapport 13:	Sammenligninger, vurderinger og konklusioner for serie A - K
Delrapport 14-16:	Prøvning af serie L - N
Delrapport 17:	Materialeprøvninger for serie L - N

Delrapport 1 indeholder en generel beskrivelse af prøvebjælkerne og en oversigt over de forskellige bjælkeserier samt beskrivelse af forsøgsopstilling, forsøgsafvikling og foretagne målinger for udmattelsesforsøgene.

Delrapport 12 og 17 indeholder resultater af de enaksede træk - og trykprøver, udført på prøvelegemer, som er udskåret af bjælkerne efter at udmattelsesprøvningen er foretaget.

Delrapport 13 indeholder sammenligninger, vurderinger og konklusioner vedrørende alle måleresultater for serie A - K.

Træk - og trykforsøgene for serierne L - N, som er beskrevet i denne rapport, er udført i perioden august - september 1993.

2. PRØVELEGEMER

Prøvelegemerne til både trykprøvningen og trækprøvningen blev udført fuldkommen som beskrevet i kapitel 2 i delrapport 12, hvortil der henvises.

3. FORSØGSOPSTILLINGER OG FORSØGSAFVIKLING

Forsøgsopstilling og forsøgsafvikling blev udført fuldkommen som beskrevet i kapitel 3 i delrapport 12, hvortil der henvises.

4. MÅLERESULTATER

For hver af serierne fra L til N er i dette kapitel anført de opnåede resultater.

Følgende er vist for hver series tryk- og trækprøvning:

- * et skema indeholdende oplysninger om:
 - * prøvenummer
 - * tværsnit
 - * brudlast i kN
 - * lasthastighed (i skemaet benævnt rate) i N/sek
 - * tryk-/trækstyrke i MPa
 - * elasticitetsmodulen i MPa
 - * den målte fugtprocent
 - * den målte forlængelse, Δ_{brud} , i mm mellem trykplader/kæber
 - * eventuelle andre bemærkninger
- * en oversigt over middelværdier og standardafvigelser for tryk-/trækstyrke, elasticitetsmodul, lasthastighed, maksimal flytning mellem trykplader/kæber samt fugtprocenten
- * en graf visende E-modulen som funktion af tryk-/trækstyrke
- * fotos af alle prøvelegemer

For hver serie er endvidere vist en graf med E-modulen for træk afsat som funktion af E-modulen for tryk.

No.	Tværsnit i mm ²	P _{brud} i kN	Rate i N/sec	σ _{brud} i MPa	E i MPa	Fugt %	Δ _{brud} i mm	Noter
L01	40,5 * 40,3 = 1632,2	87,8	544	53,8	14960	12,1	1,61	
L02	40,3 * 40,4 = 1628,1	80,5	555	49,4	14070	12,0	1,80	Note 1
L03	40,3 * 40,4 = 1628,1	75,6	573	46,4	11720	10,0	1,60	Note 1
L04	40,3 * 40,3 = 1624,1	88,7	580	54,6	22210	11,5	1,69	Note 1
L05	40,2 * 40,4 = 1624,1	77,8	594	47,9	14180	11,5	1,15	
L06	39,7 * 40,4 = 1603,9	74,6	566	46,5	16740	13,5	1,24	Note 1
L07	40,4 * 40,5 = 1636,2	82,2	446	50,2	14450	11,0	1,47	Note 1
L08	40,4 * 40,5 = 1636,2	78,7	521	48,1	13830	11,8	1,49	Note 1
L09	40,4 * 40,5 = 1636,2	87,0	527	53,2	15680	11,0	1,86	Note 1
L10	40,4 * 40,5 = 1636,2	81,6	464	49,9	17210	10,5	1,42	
L11	40,4 * 40,5 = 1636,2	81,0	525	49,5	15840	11,0	1,34	Note 1
L12	40,4 * 40,4 = 1632,2	82,7	527	50,7	17110	11,5	1,94	Note 1
L13	40,4 * 40,4 = 1632,2	68,7	505	42,1	12270	12,0	1,21	Note 1
L14	40,4 * 40,4 = 1632,2	80,0	543	49,0	17220	11,5	1,08	Note 1
L15	40,4 * 40,5 = 1632,2	82,5	557	50,4	18020	10,8	1,24	

Note 1: For disse prøver afviger tøjningsmålingerne på de to sider af prøvelegemet ved de sidste lasttrin, hvor tøjningsmåling foregår, mere end 50% fra hinanden.

No.	Tværsnit i mm ²	P _{brud} i kN	Rate i N/sec	σ_{brud} i MPa	E i MPa	Fugt %	Δ_{brud} i mm	Noter
L16	40,3 * 40,4 = 1628,1	82,7	497	50,8	15020	11,0	2,14	Note 1
L17	40,3 * 40,5 = 1632,2	80,5	499	49,3	14060	10,5	1,48	Note 1
L18	40,4 * 40,5 = 1636,2	84,3	471	51,5	14420	10,3	2,01	
L19	40,4 * 40,5 = 1636,2	83,3	479	50,9	14760	10,5	1,50	
L20	40,4 * 40,5 = 1636,2	89,2	477	54,5	14350	10,5	1,69	
L21	40,3 * 40,3 = 1624,1	86,1	473	53,0	18180	10,3	2,07	

Note 1: For disse prøver afviger tøjningsmålingerne på de to sider af prøvelegemet ved de sidste lasttrin, hvor tøjningsmåling foregår, mere end 50% fra hinanden.

Oversigt over trykprøvning for serie L:

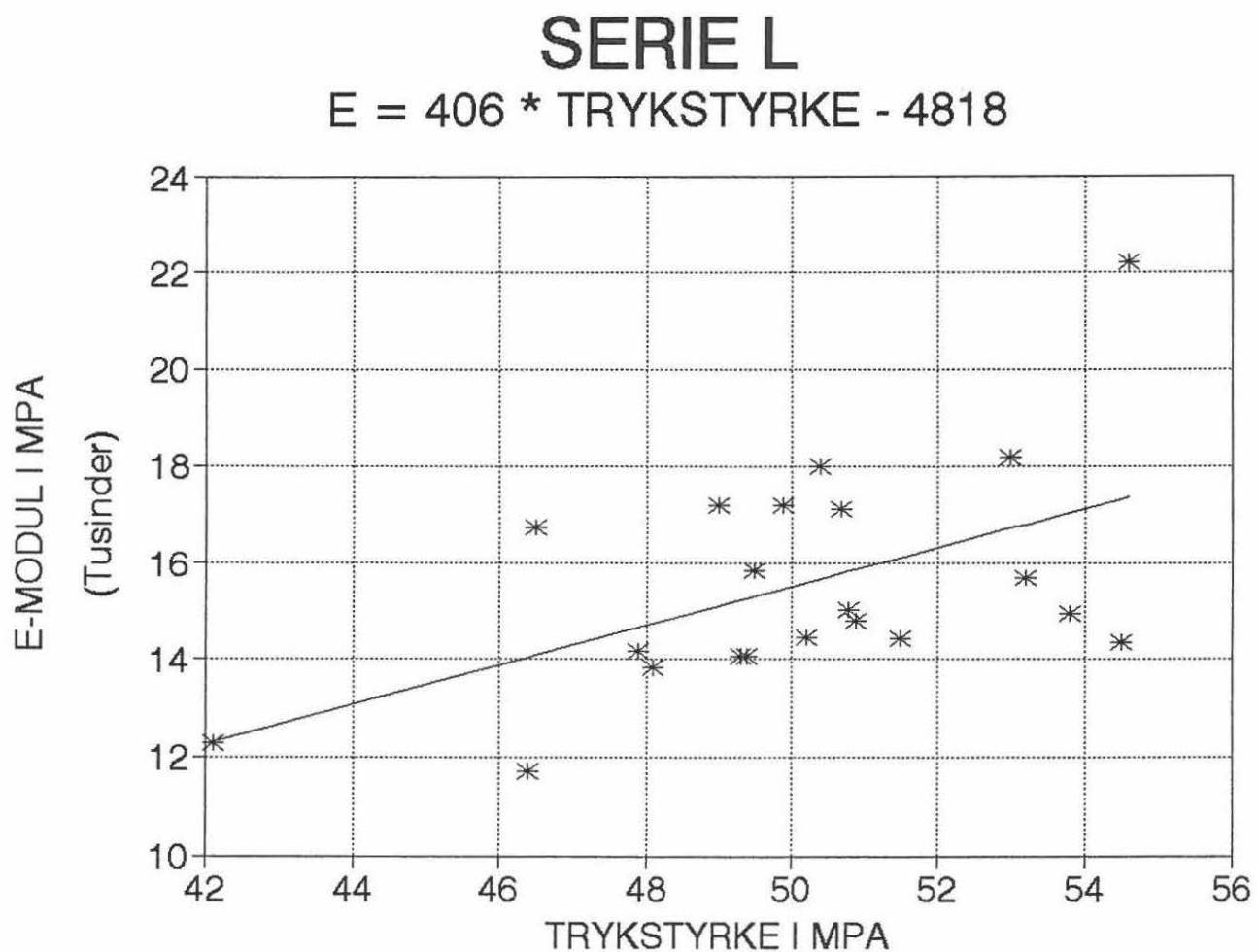
Middelværdi for trykstyrke: 50,1 MPa med en standardafv. på 2,9 MPa.

Middelværdi for E-modul: $1,55 \cdot 10^4$ MPa med en standardafv. på $0,22 \cdot 10^4$ MPa.

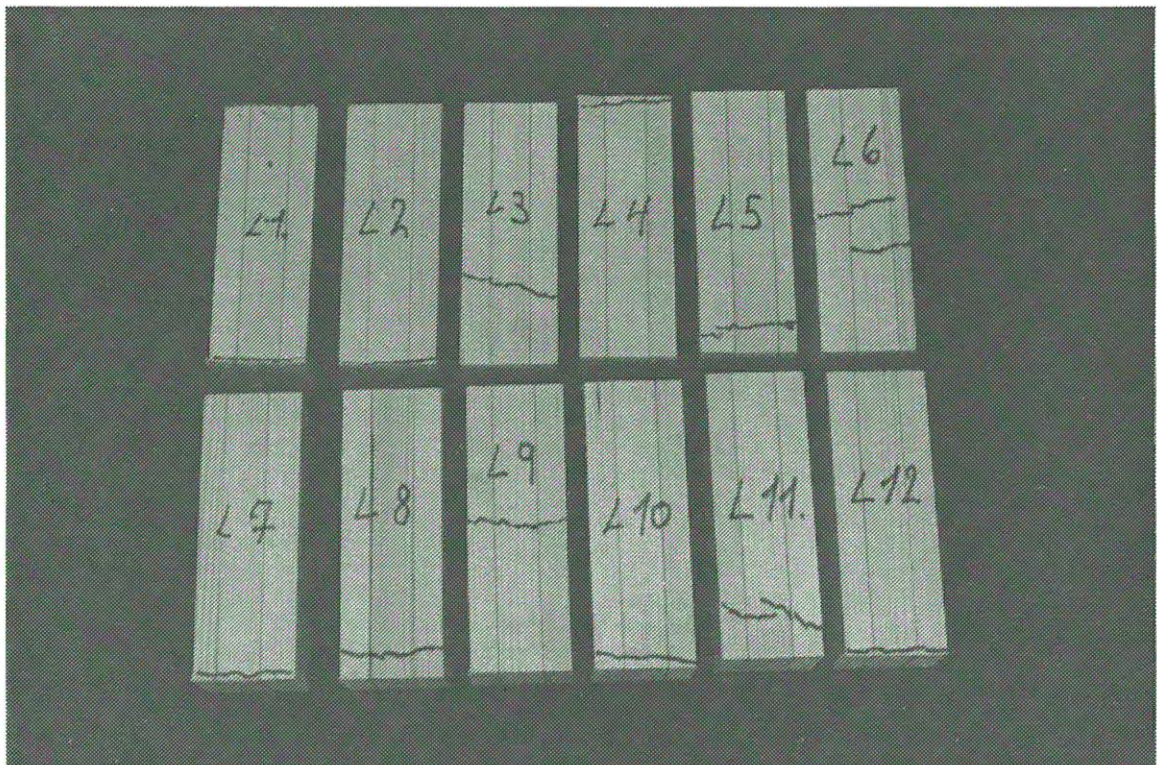
Middelværdi for flytning mellem trykplader: 1,57 mm med en standardafv. på 0,30 mm.

Middelværdi for lasthastighed: 520 N/sek. med en standardafv. på 41 N/sek.

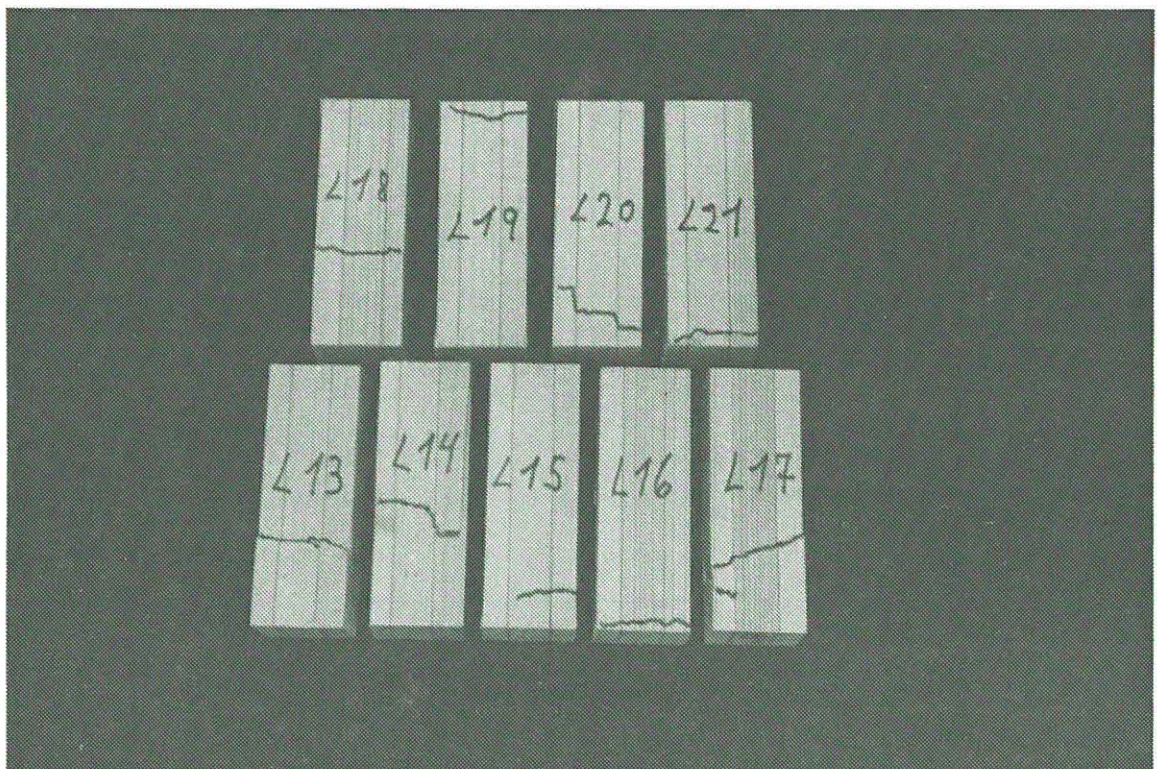
Middelværdi for fugtprocent: 11,2 med en standardafv. på 0,8.



Figur 4.1 Graf visende E-modul som funktion af trykstyrke



Figur 4.2 Foto af trykprøver L1 - L12



Figur 4.3 Foto af trykprøver L13 - L21

No.	Tværsnit i mm ²	P _{brud} i kN	Rate i N/sec	σ_{brud} i MPa	E i MPa	Fugt %	Δ_{brud} i mm	Noter
L01X	20,2 * 7,1 = 143,4	18,2	171	127,10	17820	11,5	17,65	
L02	20,1 * 7,1 = 142,7	13,2	170	92,78	16100	11,5	4,78	
L02X	20,2 * 7,1 = 143,4	14,7	171	102,81	14400	10,5	11,44	
L03	20,1 * 7,0 = 140,7	20,7	173	147,23	15910	11,5	20,46	
L03X	20,1 * 7,0 = 140,7	17,2	172	122,09	14370	10,3	16,10	
L04	20,1 * 7,0 = 140,7	16,1	172	114,36	15000	11,5	11,06	
L04X	20,1 * 7,2 = 144,7	14,0	171	96,74	14060	11,0	7,15	
L05	20,2 * 7,2 = 145,4	17,2	171	118,27	16270	10,5	16,78	
L05X	20,2 * 7,1 = 143,4	13,9	171	96,94	16310	11,0	7,98	
L06	20,3 * 7,2 = 146,2	17,1	171	117,26	15230	10,5	22,90	
L06X	20,2 * 7,2 = 145,4	15,1	170	103,74	13210	11,5	5,63	
L07	20,2 * 7,1 = 143,4	12,7	169	88,39	14700	11,5	15,05	
L07X	20,1 * 7,2 = 144,7	17,1	172	118,04	21730	11,5	9,79	
L08	20,2 * 7,1 = 143,4	24,1	174	167,76	20420	12,0	18,74	
L08X	20,2 * 7,2 = 145,4	16,3	171	111,74	17360	11,0	8,76	

No.	Tværsnit i mm ²	P _{brud} i kN	Rate i N/sec	σ_{brud} i MPa	E i MPa	Fugt %	Δ_{brud} i mm	Noter
L09	20,1 * 7,1 = 142,7	13,6	171	94,99	14710	11,5	14,04	
L09X	20,2 * 7,2 = 145,4	16,6	171	113,91	15670	11,8	19,63	
L10	20,2 * 7,3 = 147,5	12,7	170	86,43	17710	12,3	4,35	
L10X	20,2 * 7,3 = 147,5	13,1	171	89,17	14900	11,5	8,04	
L11	20,2 * 7,1 = 143,4	16,1	169	112,23	16190	12,0	9,62	
L11X	20,2 * 7,1 = 143,4	21,4	173	149,32	15480	11,5	24,16	
L12	20,1 * 7,2 = 144,7	25,4	175	175,55	19950	11,5	25,24	
L12X	20,2 * 7,0 = 141,4	19,8	173	140,34	19840	11,0	19,10	
L13	20,2 * 7,2 = 145,4	16,1	171	110,39	15630	10,3	18,95	
L13X	20,1 * 7,0 = 140,7	18,7	172	132,95	14480	12,3	28,79	
L14	20,2 * 7,0 = 141,4	18,3	173	129,32	16290	11,3	16,88	
L14X	20,1 * 7,1 = 142,7	22,1	173	154,93	18180	12,0	22,87	
L15	20,1 * 7,2 = 144,7	10,9	169	75,24	12900	11,3	4,48	
L15X	20,1 * 7,1 = 142,7	11,6	170	81,37	9109	11,0	5,03	
L16	20,2 * 7,1 = 143,4	17,1	171	119,43	13440	12,0	9,92	

No.	Tværsnit i mm ²	P _{brud} i kN	Rate i N/sec	σ_{brud} i MPa	E i MPa	Fugt %	Δ_{brud} i mm	Noter
L16X	20,2 * 7,2 = 145,4	12,8	169	88,30	14750	10,5	7,37	
L17	20,1 * 7,2 = 144,7	11,9	169	81,91	11010	12,0	5,20	
L17X	20,0 * 7,2 = 144,0	14,3	171	99,12	10970	12,0	5,78	
L18	20,2 * 7,1 = 143,4	20,8	173	145,05	20420	11,0	23,61	
L18X	20,1 * 7,1 = 142,7	10,8	168	75,54	7691	11,5	3,48	
L19	20,1 * 7,0 = 140,7	17,7	171	125,65	16890	12,0	16,06	
L19X	20,2 * 7,1 = 143,4	22,3	174	155,62	16820	12,3	23,96	
L20	20,0 * 7,3 = 146,0	12,0	170	81,97	14910	10,3	3,45	
L20X	20,2 * 7,1 = 143,4	10,3	168	71,55	13670	10,5	3,08	
L21	20,2 * 7,1 = 143,4	18,6	172	129,93	18590	11,5	11,27	
L21X	20,2 * 7,2 = 145,4	15,8	169	108,89	14590	11,3	14,14	

Oversigt over trækprøvning for serie L:

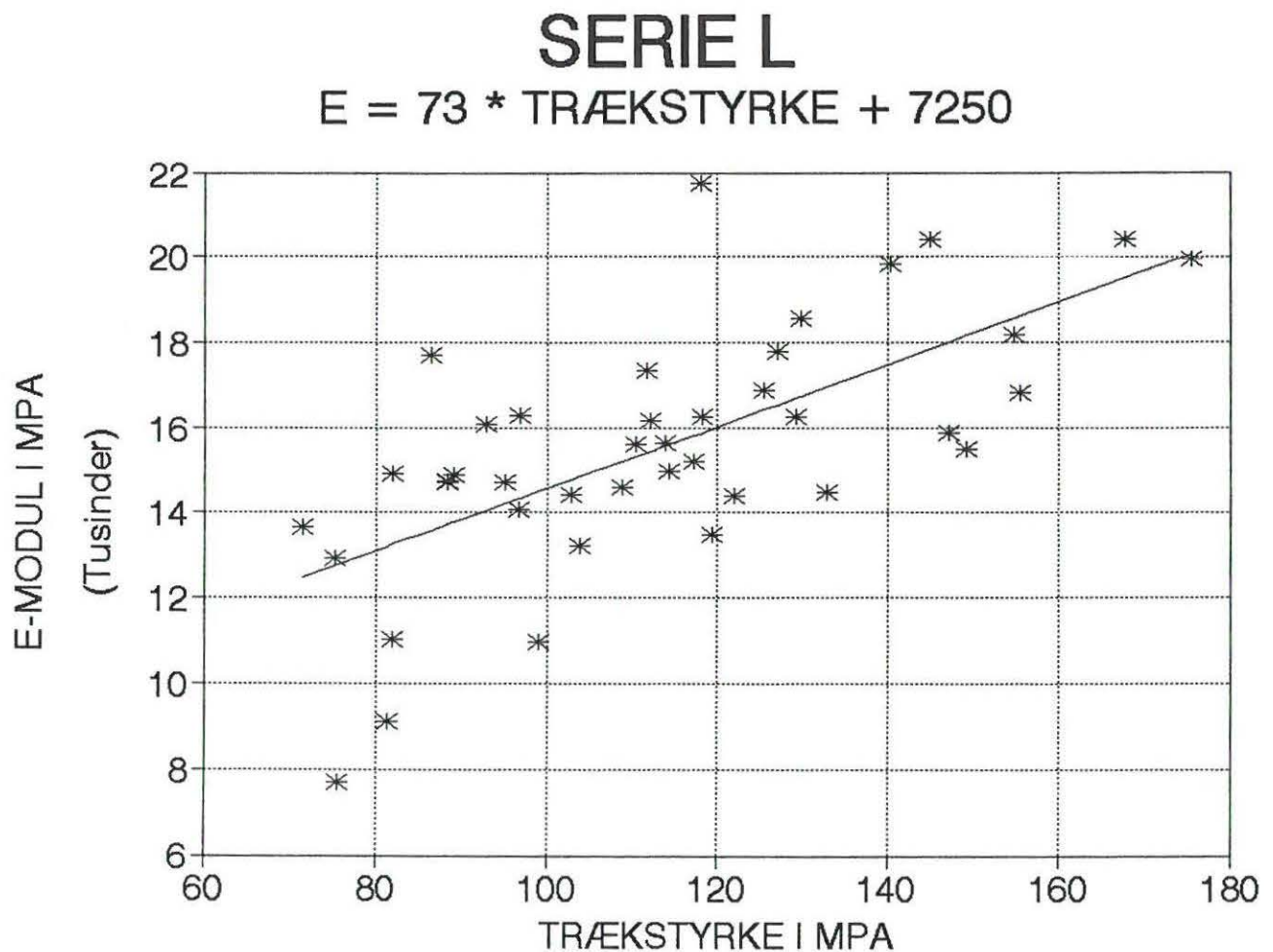
Middelværdi for trækstyrke: 113,5 MPa med en standardafv. på 26,1 MPa.

Middelværdi for E-modul: $1,56 \cdot 10^4$ MPa med en standardafv. på $0,29 \cdot 10^4$ MPa.

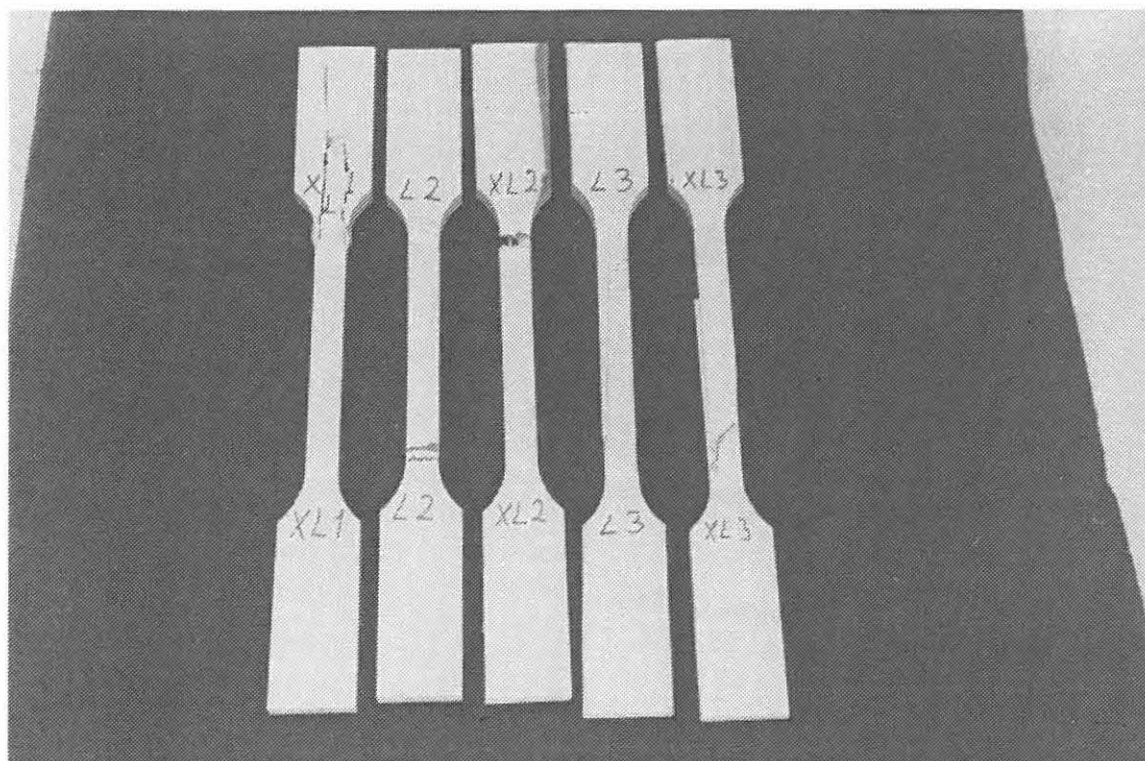
Middelværdi for flytning mellem kæber: 13,2 mm med en standardafv. på 7,21 mm.

Middelværdi for lasthastighed: 171 N/sek. med en standardafvigelse på 2 N/sek.

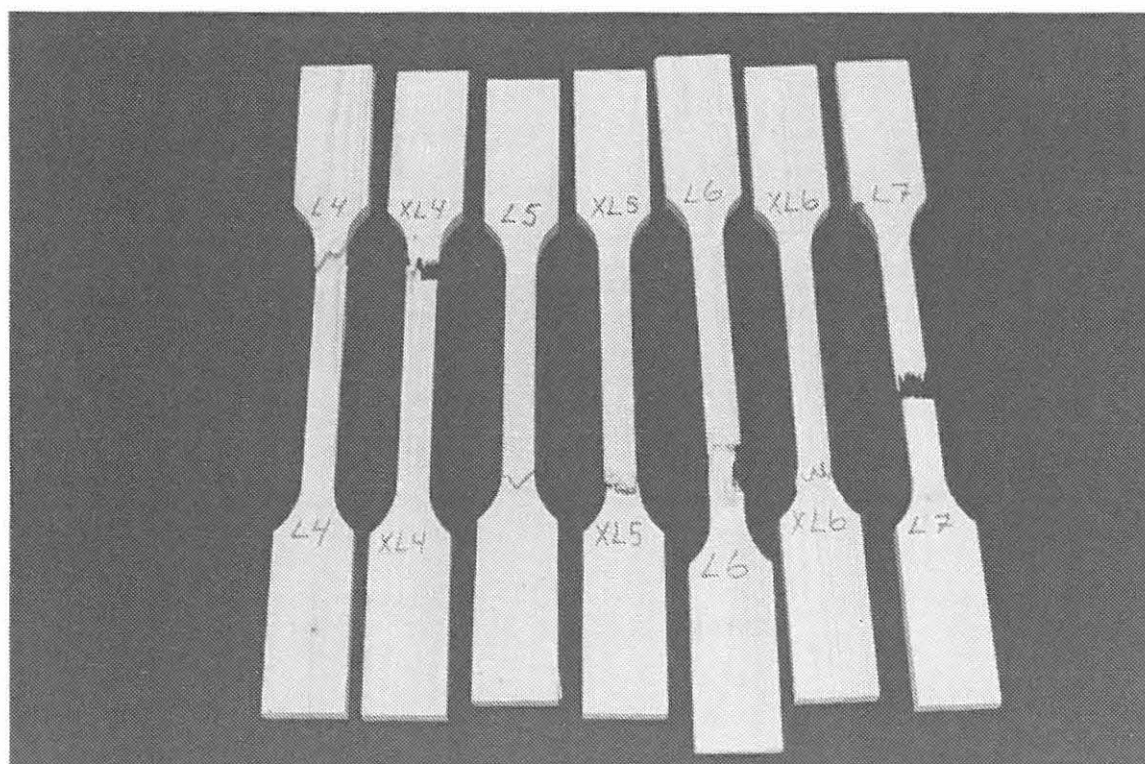
Middelværdi for fugtprocent: 11,4 med en standardafv. på 0,6.



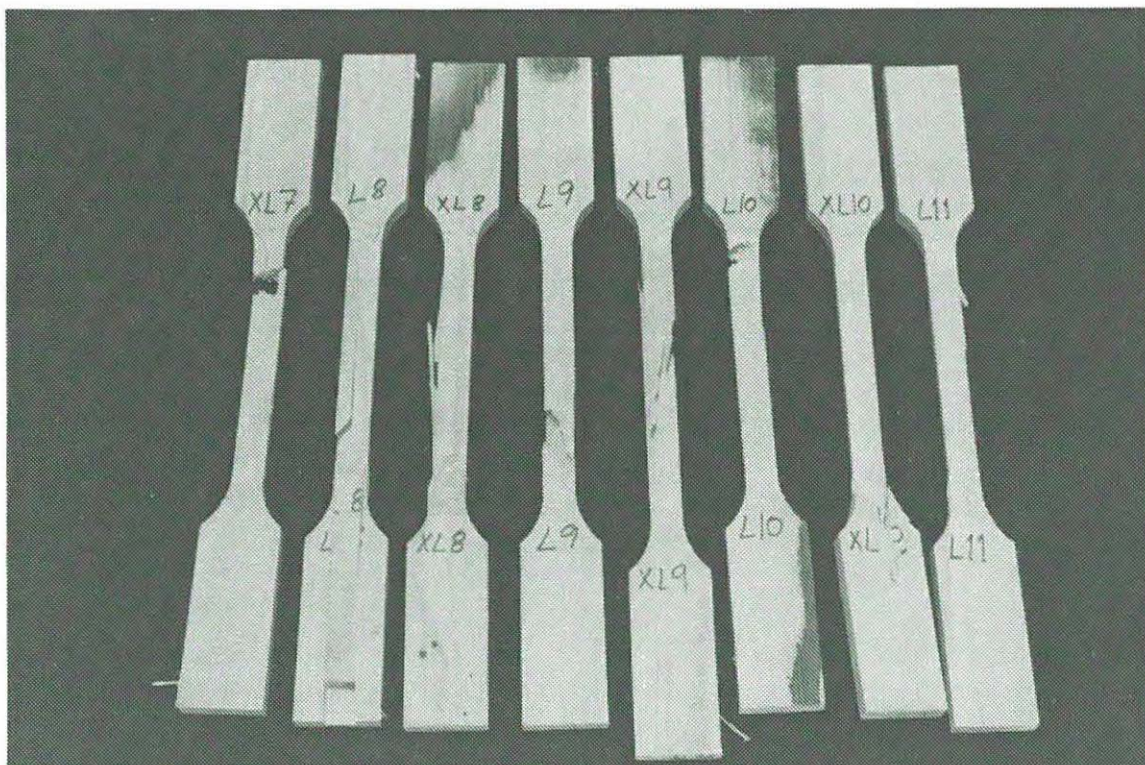
Figur 4.4 Graf visende E-modul som funktion af trækstyrke



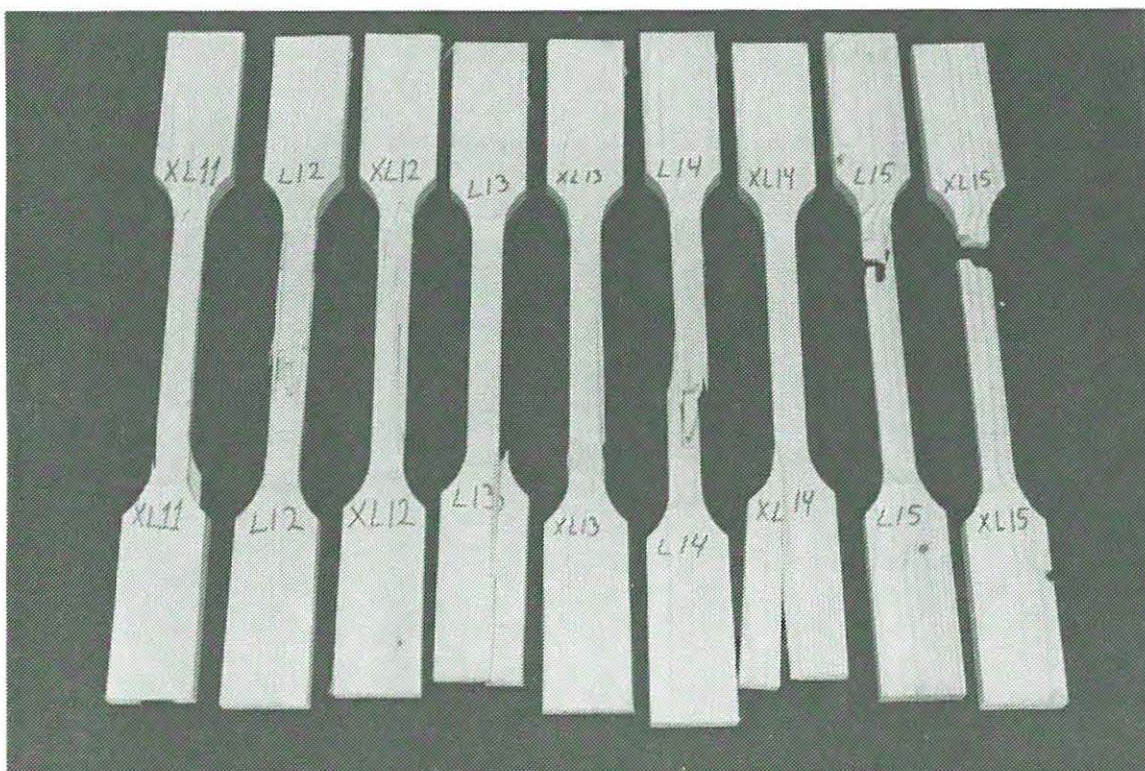
Figur 4.5 Foto af træprøver L01X - L03X



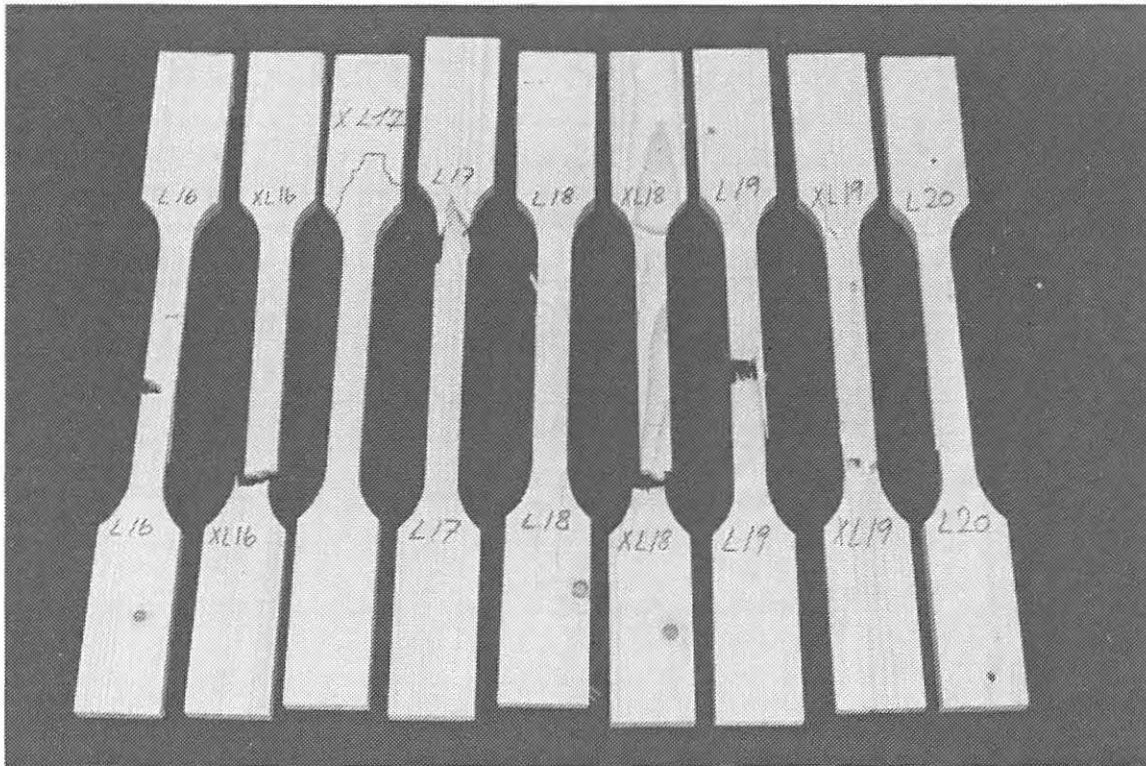
Figur 4.6 Foto af træprøver L04 - L07



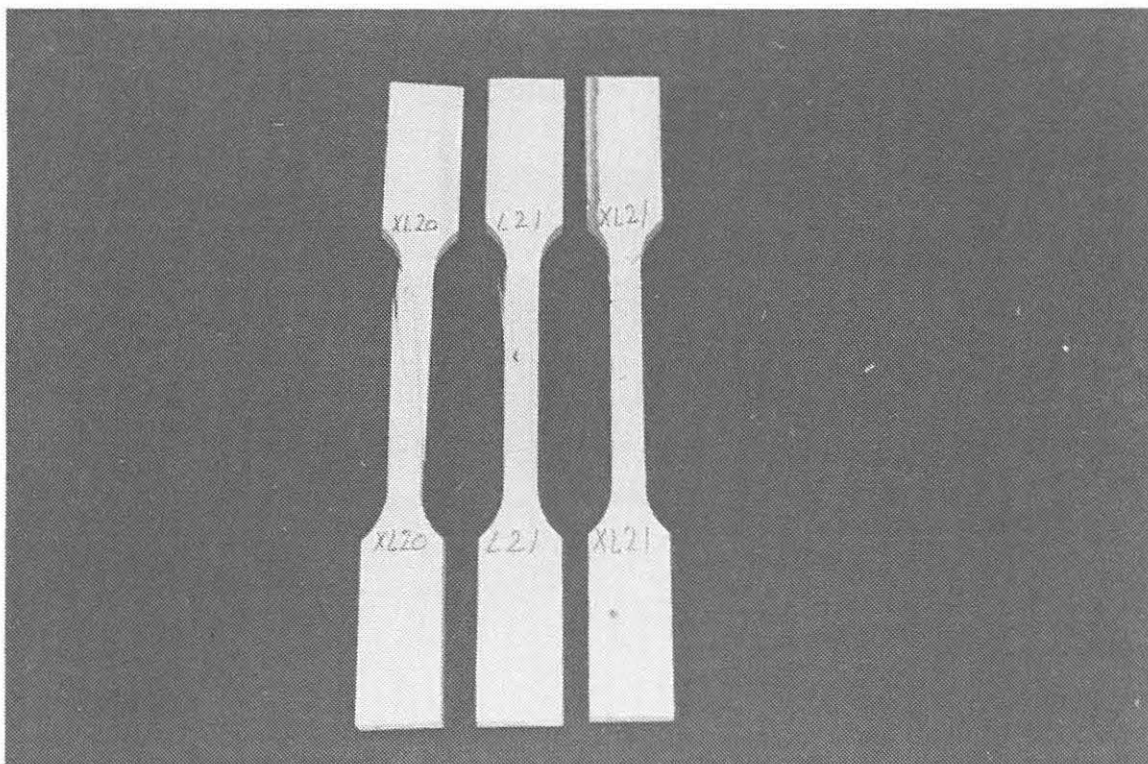
Figur 4.7 Foto af trækprøver L07X - L11



Figur 4.8 Foto af trækprøver L11X - L15X



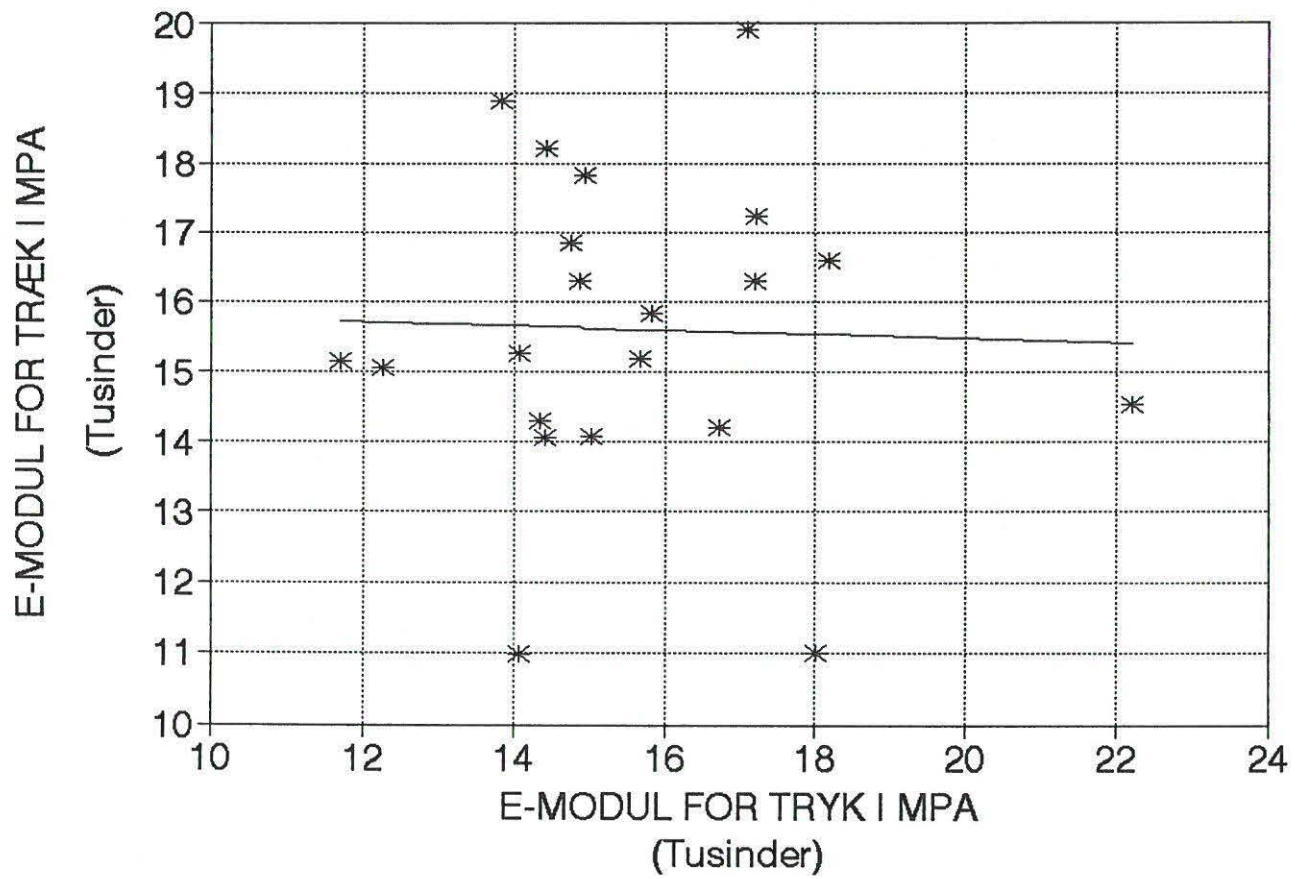
Figur 4.9 Foto af trækprøver L16 - L20



Figur 4.10 Foto af trækprøver L20X - L21X

SERIE L

$$E_{TRÆK} = - 0,030 * E_{TRYK} + 16073$$



Figur 4.11 Graf visende $E_{træk}$ som funktion af E_{tryk}

No.	Tværsnit i mm ²	P _{brud} i kN	Rate i N/sec	σ _{brud} i MPa	E i MPa	Fugt %	Δ _{brud} i mm	Noter
M01	40,2 * 40,3 = 1620,1	87,9	478	54,2	15420	11,0	1,54	Note 1
M02	40,2 * 40,3 = 1620,1	89,3	477	55,2	12060	11,5	1,69	Note 1
M03	40,3 * 40,4 = 1628,1	81,7	483	50,2	15330	11,5	1,07	Note 1
M04	40,3 * 40,3 = 1624,1	99,0	490	61,0	18460	10,0	2,31	Note 1
M05	40,3 * 40,3 = 1624,1	88,5	489	54,5	17630	10,8	1,41	Note 1
M06	40,1 * 40,1 = 1608,1	94,2	501	58,6	18780	12,0	1,47	Note 1
M07	40,3 * 40,3 = 1624,1	73,7	474	45,4	14360	10,0	1,15	
M08	40,3 * 40,3 = 1624,1	87,2	493	53,7	18030	10,5	1,59	Note 1
M09	40,2 * 40,2 = 1616,0	82,1	498	50,8	13890	10,0	1,01	
M10	40,2 * 40,2 = 1616,0	89,6	495	55,4	16590	11,0	1,41	Note 1
M11	40,2 * 40,3 = 1620,1	87,9	492	54,3	14680	11,5	1,60	
M12	40,3 * 40,3 = 1624,1	88,9	493	54,8	16010	10,3	1,41	
M13	40,3 * 40,3 = 1624,1	93,0	493	57,3	16430	11,5	1,49	
M14	40,2 * 40,2 = 1616,0	88,1	479	54,5	14710	11,5	1,53	
M15	40,2 * 40,3 = 1620,1	91,6	480	56,6	16300	11,5	1,38	

Note 1: For disse prøver afviger tøjningsmålingerne på de to sider af prøvelegemet ved de sidste lasttrin, hvor tøjningsmåling foregår, mere end 50% fra hinanden.

No.	Tværsnit i mm ²	P _{brud} i kN	Rate i N/sec	σ_{brud} i MPa	E i MPa	Fugt %	Δ_{brud} i mm	Noter
M16	40,3 * 40,3 = 1624,1	82,4	476	50,7	14310	9,8	1,51	

Oversigt over trykprøvning for serie M:

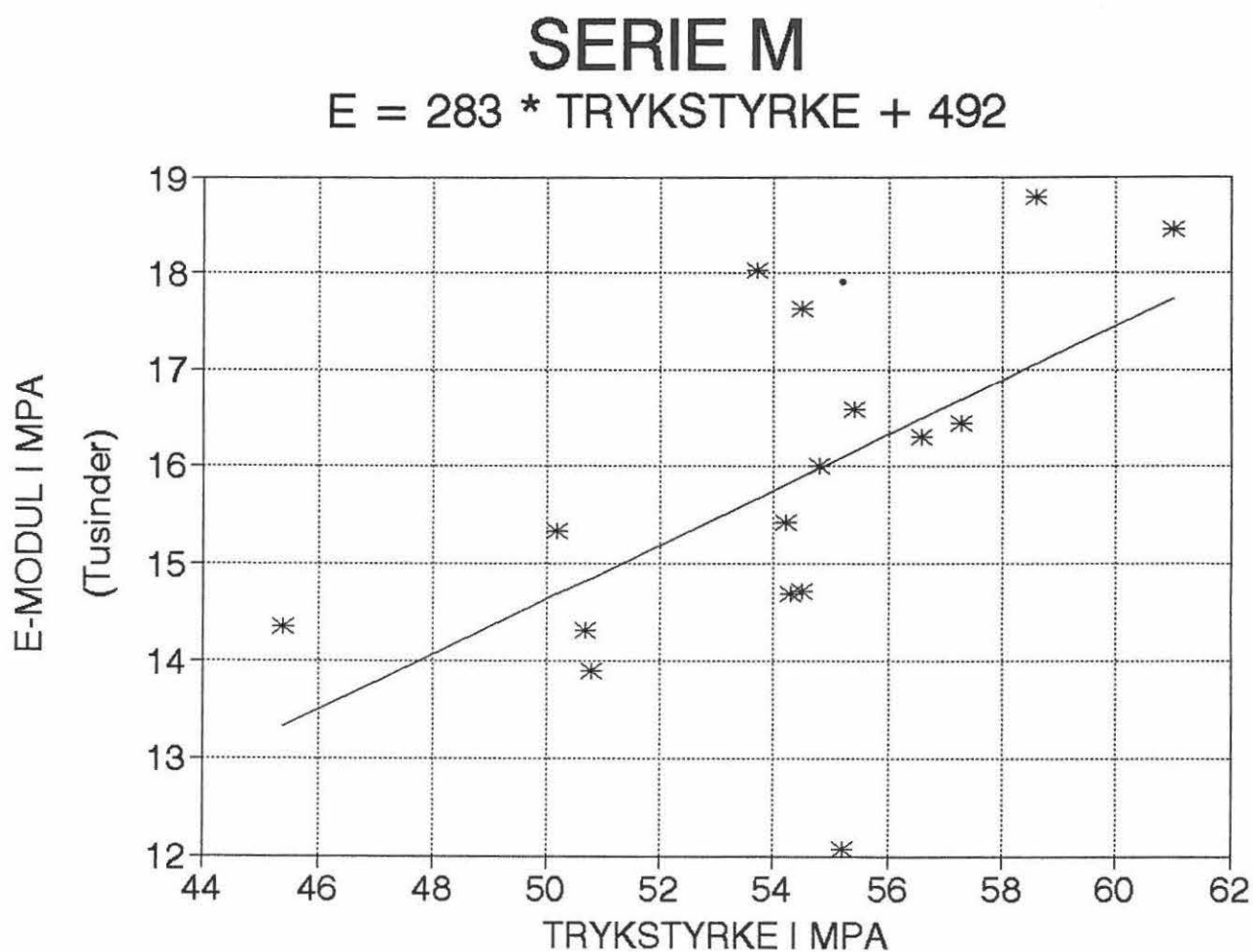
Middelværdi for trykstyrke: 54,2 MPa med en standardafv. på 3,5 MPa.

Middelværdi for E-modul: $1,58 \cdot 10^4$ MPa med en standardafv. på $0,18 \cdot 10^4$ MPa.

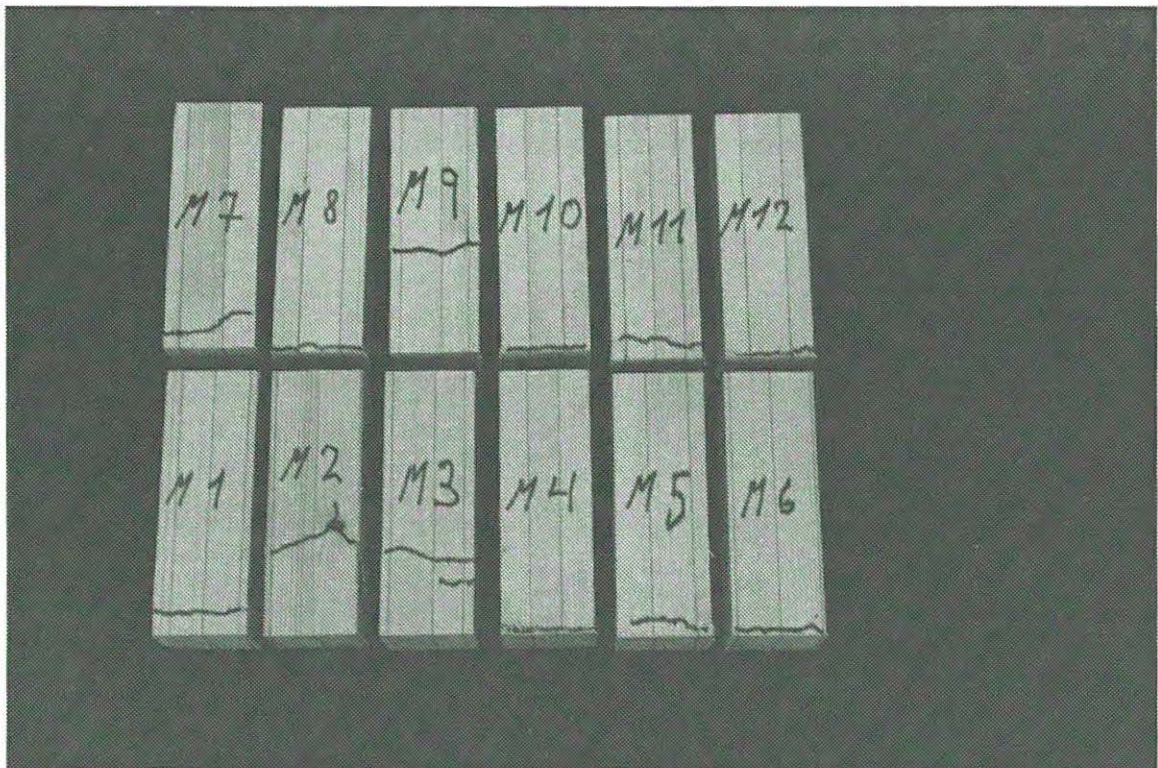
Middelværdi for flytning mellem trykplader: 1,50 mm med en standardafv. på 0,30 mm.

Middelværdi for lasthastighed: 487 N/sek. med en standardafv. på 8 N/sek.

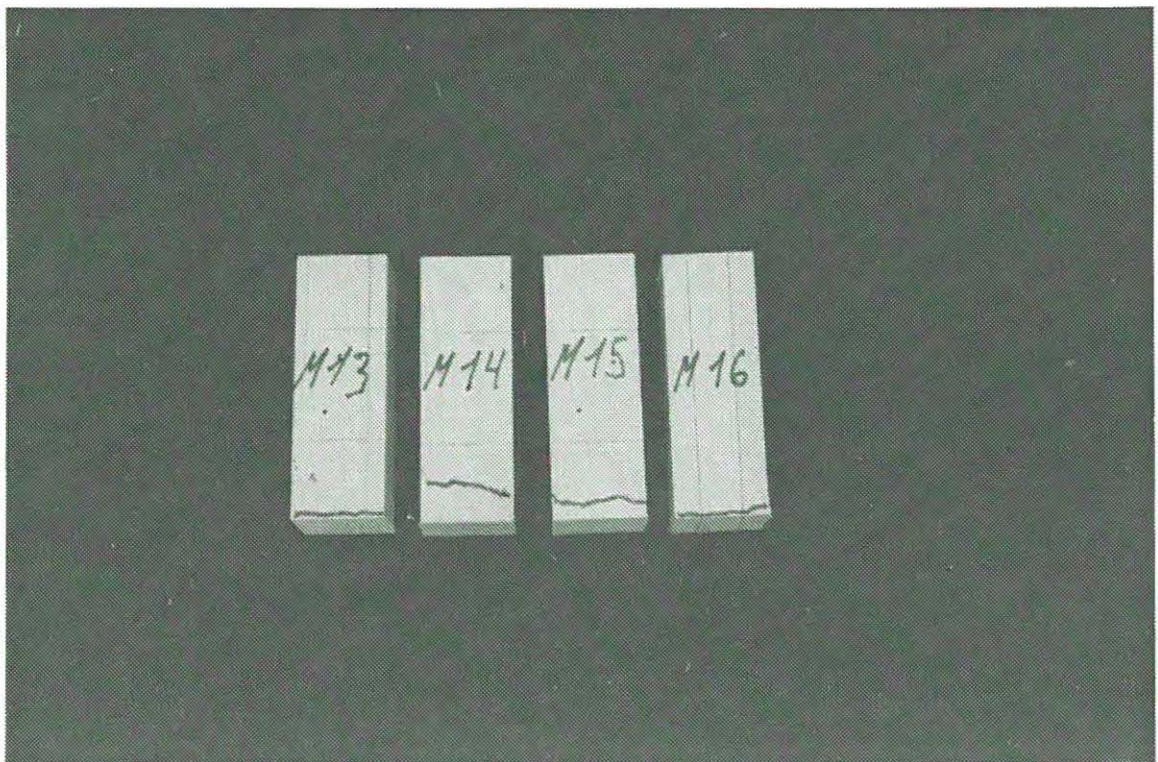
Middelværdi for fugtprocent: 10,9 med en standardafv. på 0,7.



Figur 4.12 Graf visende E-modul som funktion af trykstyrke



Figur 4.13 Foto af trykprøver M1 - M12



Figur 4.14 Foto af trykprøver M13 - M16

No.	Tværsnit i mm ²	P _{brud} i kN	Rate i N/sec	σ_{brud} i MPa	E i MPa	Fugt %	Δ_{brud} i mm	Noter
M01	20,1 * 7,0 = 140,7	14,3	168	101,78	19110	11,5	4,83	
M01X	20,0 * 7,0 = 140,0	16,4	169	117,38	16240	11,5	15,02	
M02	20,1 * 7,1 = 142,7	16,3	169	114,47	15440	10,8	17,76	
M02X	20,1 * 7,2 = 144,7	17,2	170	119,19	17980	11,3	14,88	
M03	20,1 * 7,0 = 140,7	20,9	170	148,81	18100	11,5	26,81	
M03X	20,1 * 7,2 = 144,7	19,3	170	133,65	17430	11,5	21,57	
M04	20,1 * 7,0 = 140,7	19,9	171	141,21	17190	11,3	13,03	
M04X	20,1 * 7,0 = 140,7	18,5	170	131,47	17650	10,8	7,69	
M05	20,1 * 7,0 = 140,7	11,1	167	79,15	13410	11,8	4,59	
M05X	20,1 * 7,0 = 140,7	11,4	167	80,83	14750	11,8	4,35	
M06	20,4 * 7,1 = 144,8	19,7	170	135,83	16490	11,5	22,99	
M06X	20,4 * 7,1 = 144,8	18,4	170	127,12	19640	11,3	12,12	
M07	20,3 * 7,1 = 144,1	15,1	169	104,55	18840	11,5	9,90	
M07X	20,3 * 7,1 = 144,1	11,8	168	81,53	13640	11,0	9,22	
M08	20,3 * 7,0 = 142,1	12,2	168	86,10	16300	11,8	7,02	

No.	Tværsnit i mm ²	P _{brud} i kN	Rate i N/sec	σ_{brud} i MPa	E i MPa	Fugt %	Δ_{brud} i mm	Noter
M08X	20,3 * 7,1 = 144,1	15,6	168	108,54	17020	11,5	22,43	
M09	20,3 * 7,0 = 142,1	13,0	168	91,80	12230	11,3	8,95	
M09X	20,3 * 7,1 = 144,1	14,0	169	97,47	16730	11,3	7,32	
M10	20,3 * 6,9 = 140,1	23,6	172	168,49	17720	12,0	26,10	
M10X	20,2 * 6,9 = 139,4	21,5	174	154,37	17110	11,8	22,73	
M11	20,2 * 7,0 = 141,4	14,5	170	102,87	14510	11,5	14,25	
M11X	20,4 * 7,0 = 142,8	14,8	170	103,74	17220	11,8	7,04	
M12	20,2 * 7,0 = 141,4	12,8	169	90,43	17200	11,8	4,09	
M12X	20,2 * 6,9 = 139,4	11,8	168	84,34	14400	11,5	7,26	
M13	20,3 * 7,1 = 144,1	17,1	171	118,76	19020	12,0	12,43	
M13X	20,3 * 7,1 = 144,1	20,9	173	144,87	19000	11,5	22,96	
M14	20,2 * 7,0 = 141,4	16,5	171	117,00	16070	11,8	6,48	
M14X	20,2 * 7,0 = 141,4	17,3	171	122,28	16170	11,5	8,26	
M15	20,3 * 6,9 = 140,1	18,2	171	130,15	17590	11,8	27,65	
M15X	20,3 * 6,9 = 140,1	23,5	173	167,56	18350	12,3	22,87	

No.	Tværsnit i mm ²	P _{brud} i kN	Rate i N/sec	σ _{brud} i MPa	E i MPa	Fugt %	Δ _{brud} i mm	Noter
M16	20,4 * 7,1 = 144,8	17,1	170	117,81	19680	11,8	13,23	
M16X	20,3 * 7,1 = 144,1	16,0	169	111,04	19000	12,0	13,16	

Oversigt over trækprøvning for serie M:

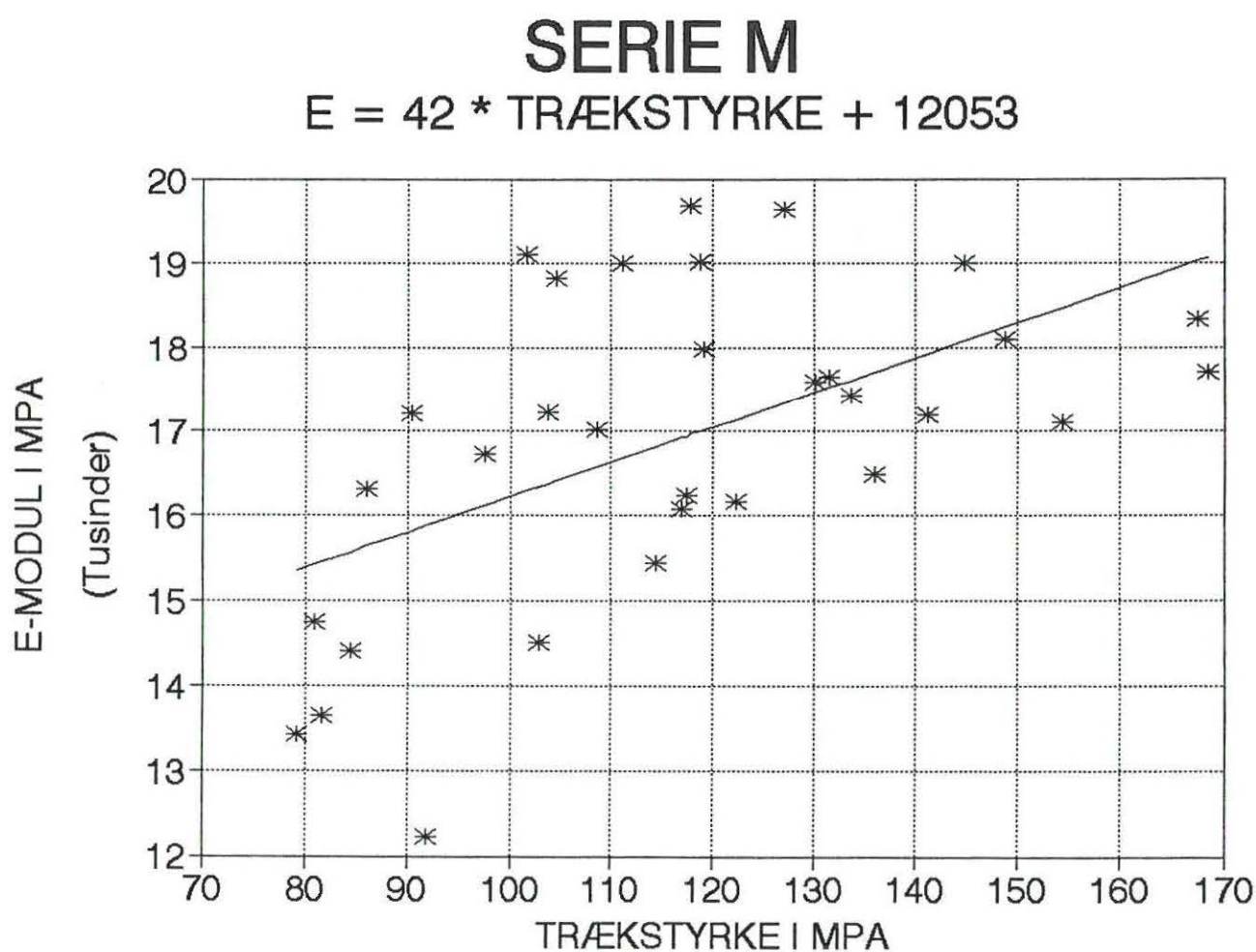
Middelværdi for trækstyrke: 116,7 MPa med en standardafv. på 24,2 MPa.

Middelværdi for E-modul: $1,69 \cdot 10^4$ MPa med en standardafv. på $0,19 \cdot 10^4$ MPa.

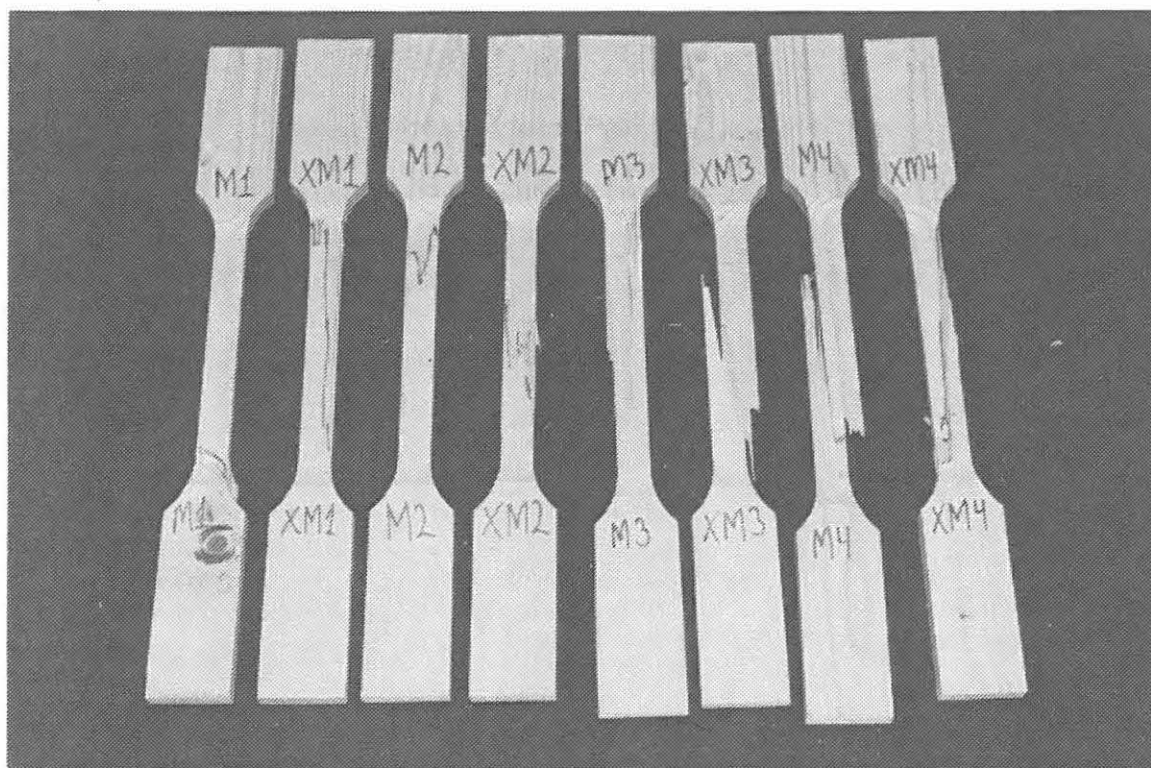
Middelværdi for flytning mellem kæber: 13,72 mm med en standardafv. på 7,31 mm.

Middelværdi for lasthastighed: 170 N/sek. med en standardafv. på 2 N/sek.

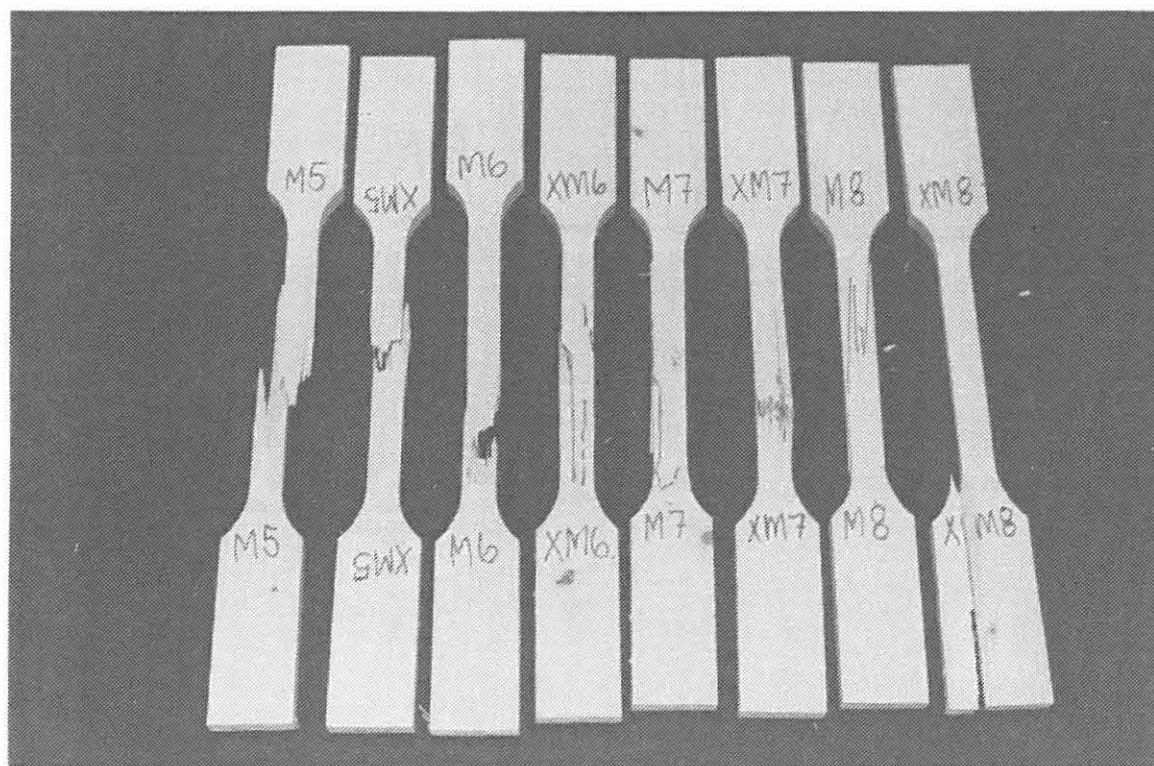
Middelværdi for fugtprocent: 11,6 med en standardafv. på 0,3.



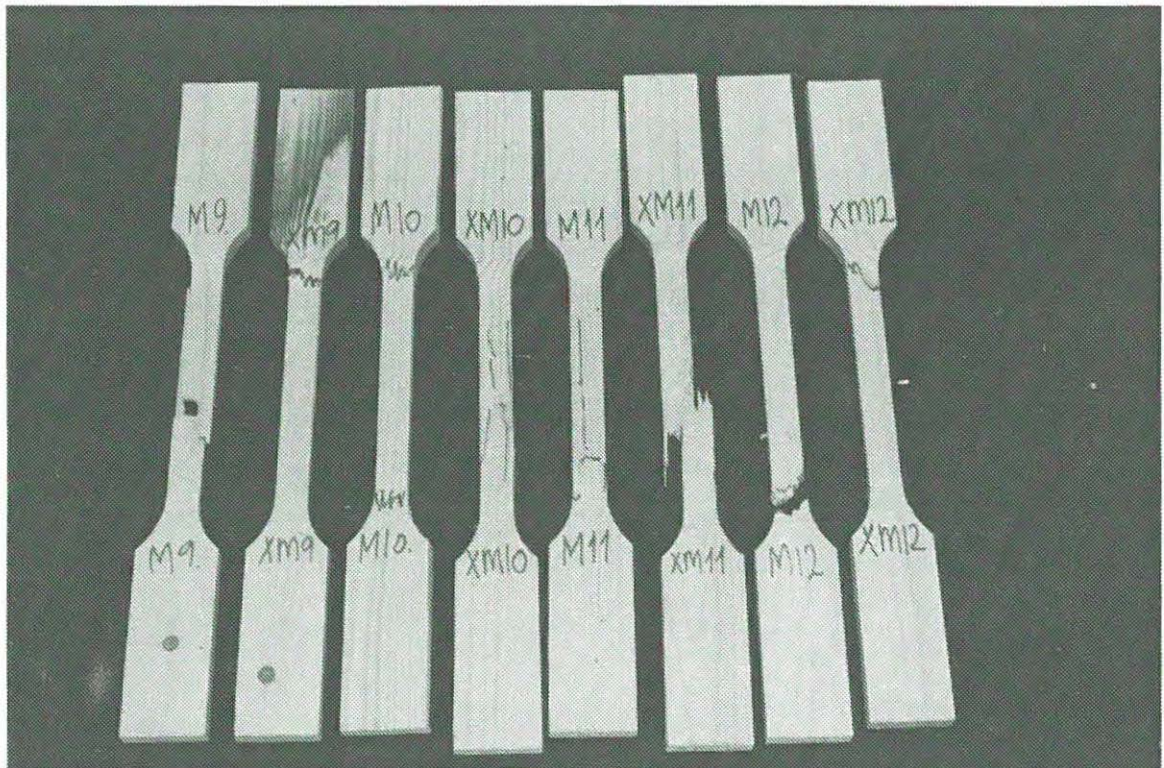
Figur 4.15 Graf visende E-modul som funktion af trækstyrke



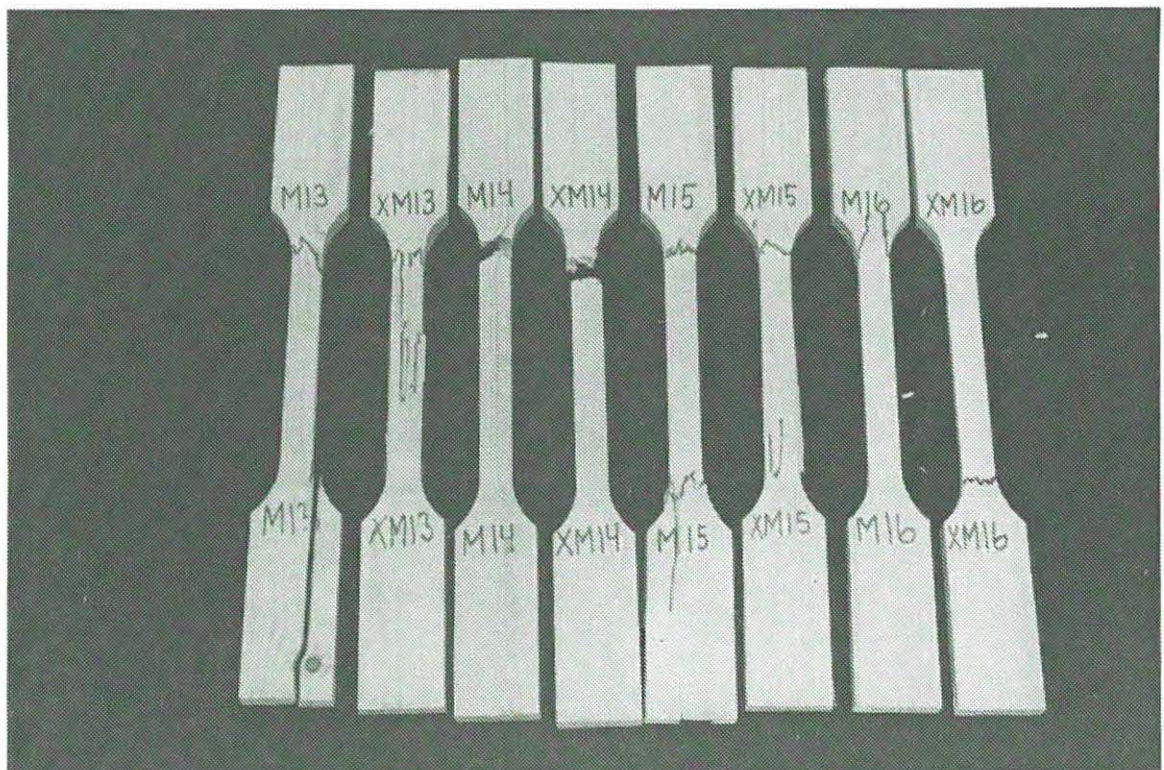
Figur 4.16 Foto af trækprøver M01 - M04X



Figur 4.17 Foto af trækprøver M05 - M08X



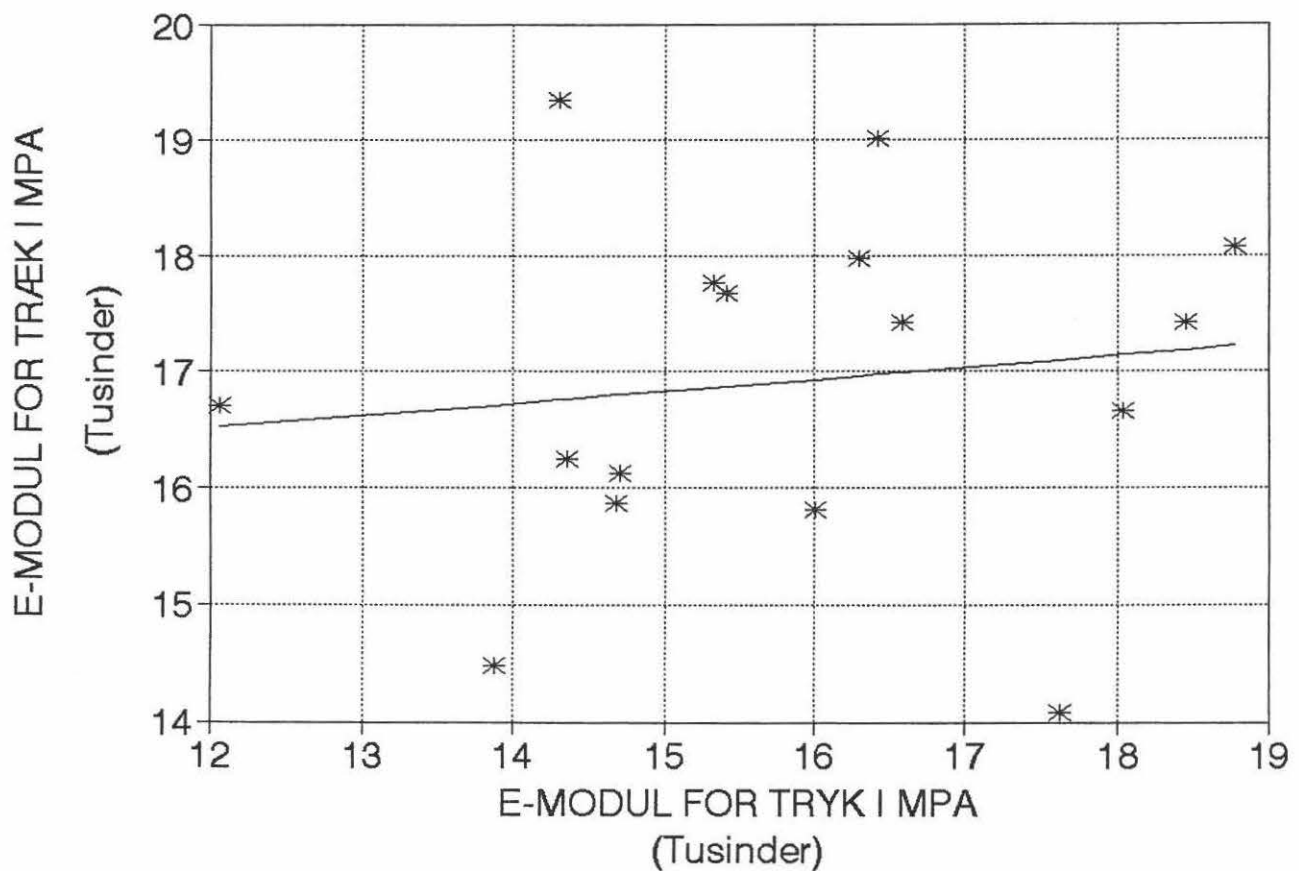
Figur 4.18 Foto af træprøver M09 - M12X



Figur 4.19 Foto af træprøver M13 - M16X

SERIE M

$$E_{\text{TRÆK}} = 0,102 * E_{\text{TRYK}} + 15295$$



Figur 4.20 Graf visende $E_{\text{træk}}$ som funktion af E_{tryk}

No.	Tværsnit i mm ²	P _{brud} i kN	Rate i N/sec	σ_{brud} i MPa	E i MPa	Fugt %	Δ_{brud} i mm	Noter
N01	40,3 * 40,3 = 1624,1	82,1	483	50,5	13910	10,5	1,51	Note 1
N02	40,3 * 40,4 = 1628,1	87,7	504	53,9	18060	11,5	1,72	Note 1
N03	40,2 * 40,3 = 1620,1	90,8	491	56,0	14680	11,5	1,30	
N04	40,3 * 40,4 = 1628,1	90,9	495	55,8	15770	11,5	1,50	
N05	40,3 * 40,4 = 1628,1	89,0	502	54,7	15970	10,8	1,24	
N06	40,3 * 40,4 = 1628,1	88,1	490	54,1	19030	11,0	1,58	Note 1
N07	40,3 * 40,3 = 1624,1	82,7	497	51,0	14800	11,5	1,35	Note 1
N08	40,3 * 40,3 = 1624,1	92,3	509	56,9	16030	11,5	1,23	
N09	40,3 * 40,4 = 1628,1	89,4	486	54,9	15090	10,5	1,34	
N10	40,3 * 40,3 = 1624,1	90,5	492	55,7	16490	10,3	1,36	
N11	40,3 * 40,4 = 1628,1	88,8	497	54,5	17450	11,5	1,57	
N12	40,2 * 40,3 = 1620,1	81,8	484	50,5	12810	10,0	1,11	
N13	40,3 * 40,3 = 1624,1	81,6	483	50,1	13980	10,3	1,19	Note 1
N14	40,2 * 40,3 = 1620,1	89,5	498	55,2	17110	10,5	1,11	

Note 1: For disse prøver afviger tøjningsmålingerne på de to sider af prøvelegemet ved de sidste lasttrin, hvor tøjningsmåling foregår, mere end 50% fra hinanden.

Oversigt over trykprøvning for serie N:

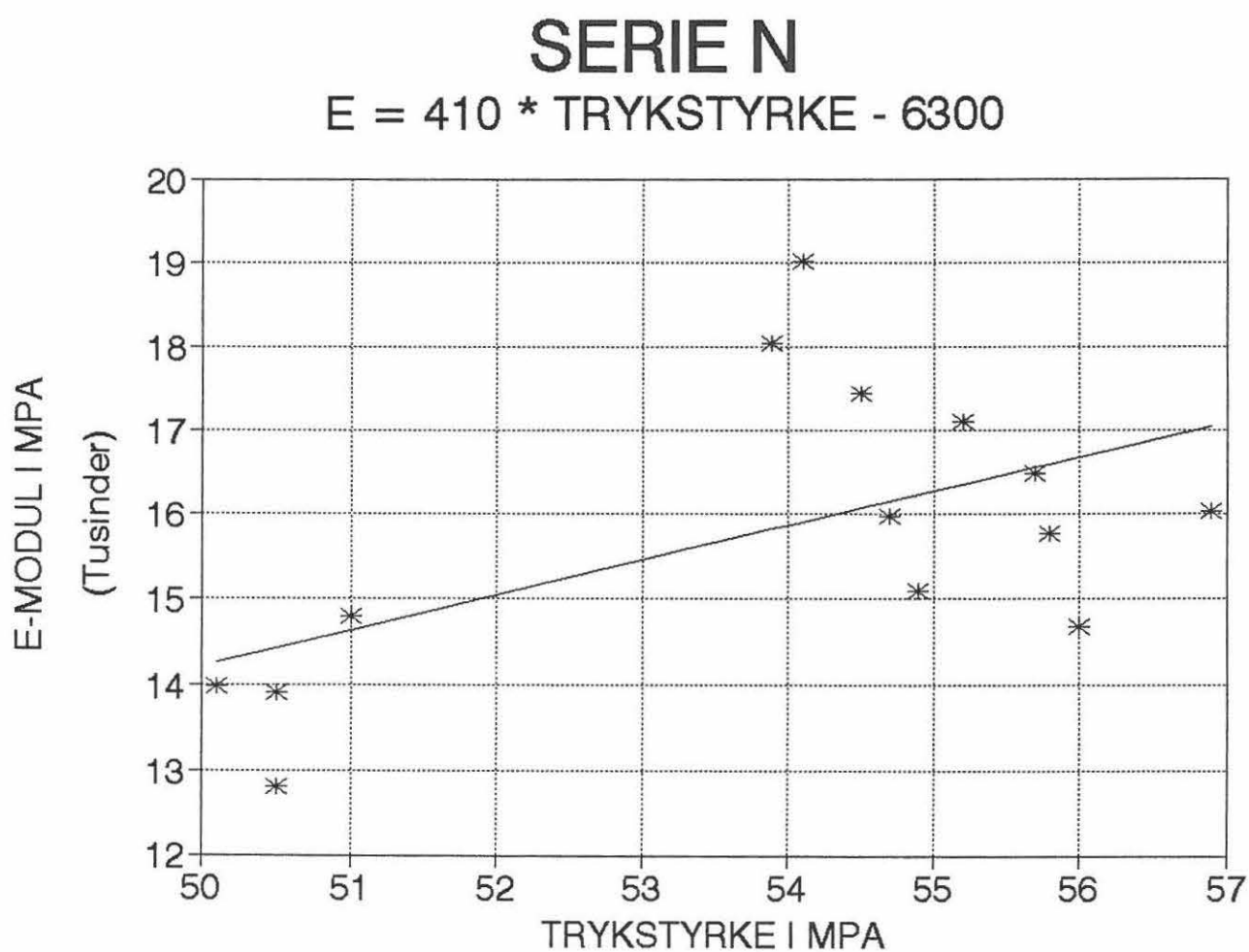
Middelværdi for trykstyrke: 53,8 MPa med en standardafv. på 2,2 MPa.

Middelværdi for E-modul: $1,58 \cdot 10^4$ MPa med en standardafv. på $0,17 \cdot 10^4$ MPa.

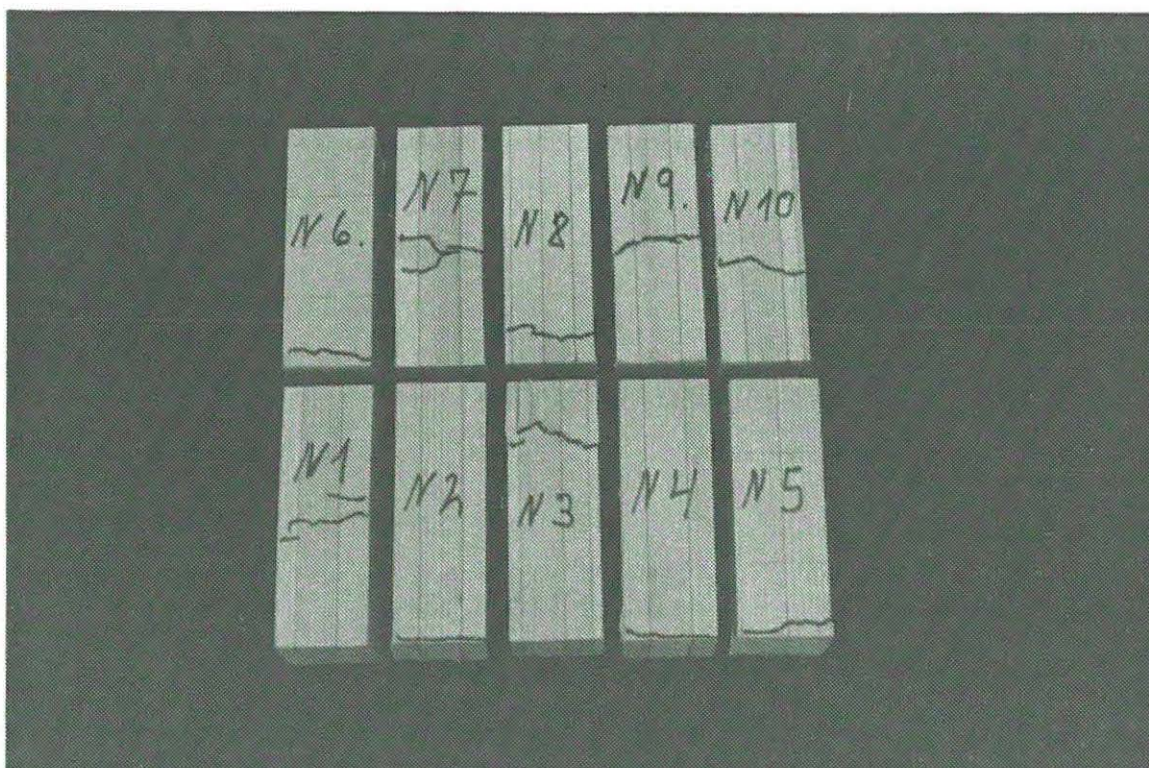
Middelværdi for flytning mellem trykplader: 1,40 mm med en standardafv. på 0,20 mm.

Middelværdi for lasthastighed: 494 N/sek. med en standardafv. på 8 N/sek.

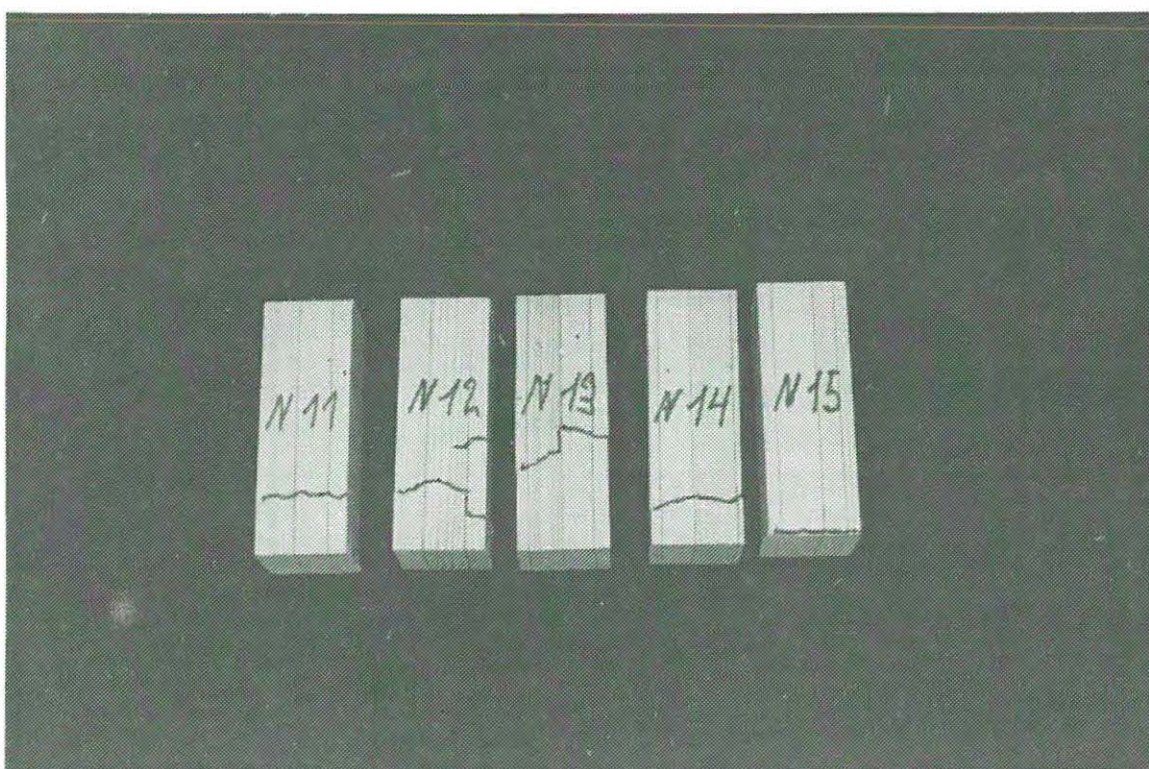
Middelværdi for fugtprocent: 10,9 med en standardafv. på 0,5.



Figur 4.21 Graf visende E-modul som funktion af trykstyrke



Figur 4.22 Foto af trykprøver N01 - N10



Figur 4.23 Foto af trykprøver N11 - N15

No.	Tværsnit i mm ²	P _{brud} i kN	Rate i N/sec	σ _{brud} i MPa	E i MPa	Fugt %	Δ _{brud} i mm	Noter
N01	20,3 * 7,2 = 146,2	26,1	174	178,75	20580	11,8	27,24	
N01X	20,3 * 7,0 = 142,1	13,4	169	94,09	12030	11,5	7,19	
N02	20,2 * 7,0 = 141,4	14,2	169	100,51	14950	11,5	14,69	
N02X	20,2 * 7,0 = 141,4	13,8	169	97,74	13520	12,0	8,18	
N03	20,3 * 7,2 = 146,2	15,8	170	108,17	13790	11,2	12,47	
N03X	20,2 * 7,1 = 143,4	13,6	168	94,51	14680	12,0	18,12	
N04	20,2 * 7,2 = 145,4	19,0	171	130,55	14650	9,8	22,00	
N04X	20,3 * 7,0 = 142,1	17,3	170	122,00	16400	12,5	18,75	
N05	20,2 * 7,2 = 145,4	14,5	170	99,42	16720	11,5	10,24	
N05X	20,3 * 7,0 = 142,1	16,6	170	117,15	15320	11,5	8,40	
N06	20,3 * 7,0 = 142,1	16,1	168	113,39	17600	12,0	13,16	
N06X	20,3 * 7,1 = 144,1	18,7	170	130,07	17120	12,0	24,37	
N07	20,1 * 7,1 = 142,7	14,3	169	100,16	13820	12,3	11,32	
N07X	20,3 * 7,1 = 144,1	16,3	170	112,77	16740	11,3	11,13	
N08	20,2 * 6,9 = 139,4	12,1	168	86,59	11710	11,0	3,35	

No.	Tværsnit i mm ²	P _{brud} i kN	Rate i N/sec	σ _{brud} i MPa	E i MPa	Fugt %	Δ _{brud} i mm	Noter
N08X	20,2 * 7,1 = 143,4	12,7	169	88,81	16360	12,8	4,05	
N09	20,2 * 7,0 = 141,4	14,9	171	105,57	15210	11,5	7,49	
N09X	20,3 * 7,1 = 144,1	15,3	169	106,35	13290	11,5	13,39	
N10	20,3 * 6,8 = 138,0	12,1	169	87,58	18480	11,5	5,31	
N10X	20,3 * 7,2 = 146,2	11,0	168	75,09	12250	12,3	5,83	
N11	20,3 * 7,2 = 146,2	16,8	171	115,02	16000	11,3	21,80	
N11X	20,1 * 7,1 = 142,7	9,4	168	65,83	14540	10,0	2,32	
N12	20,2 * 6,0 = 121,2	11,9	169	98,53	15600	11,0	5,88	
N12X	20,3 * 7,0 = 142,1	20,7	172	145,54	16620	11,8	22,87	
N13	20,3 * 7,0 = 142,1	19,4	171	136,81	17100	11,5	22,82	
N13X	20,2 * 7,1 = 143,4	9,8	166	68,41	13920	12,0	3,60	
N14	20,3 * 7,2 = 146,2	16,5	170	112,68	18290	11,5	9,24	
N14X	20,4 * 7,3 = 148,9	5,2	166	34,60	13230	10,3	1,22	
N15	20,2 * 7,1 = 143,4	12,2	167	85,14	15010	10,5	6,40	
N15X	20,3 * 7,3 = 148,2	19,3	170	130,49	15900	11,3	24,13	

Oversigt over trækprøvning for serie N:

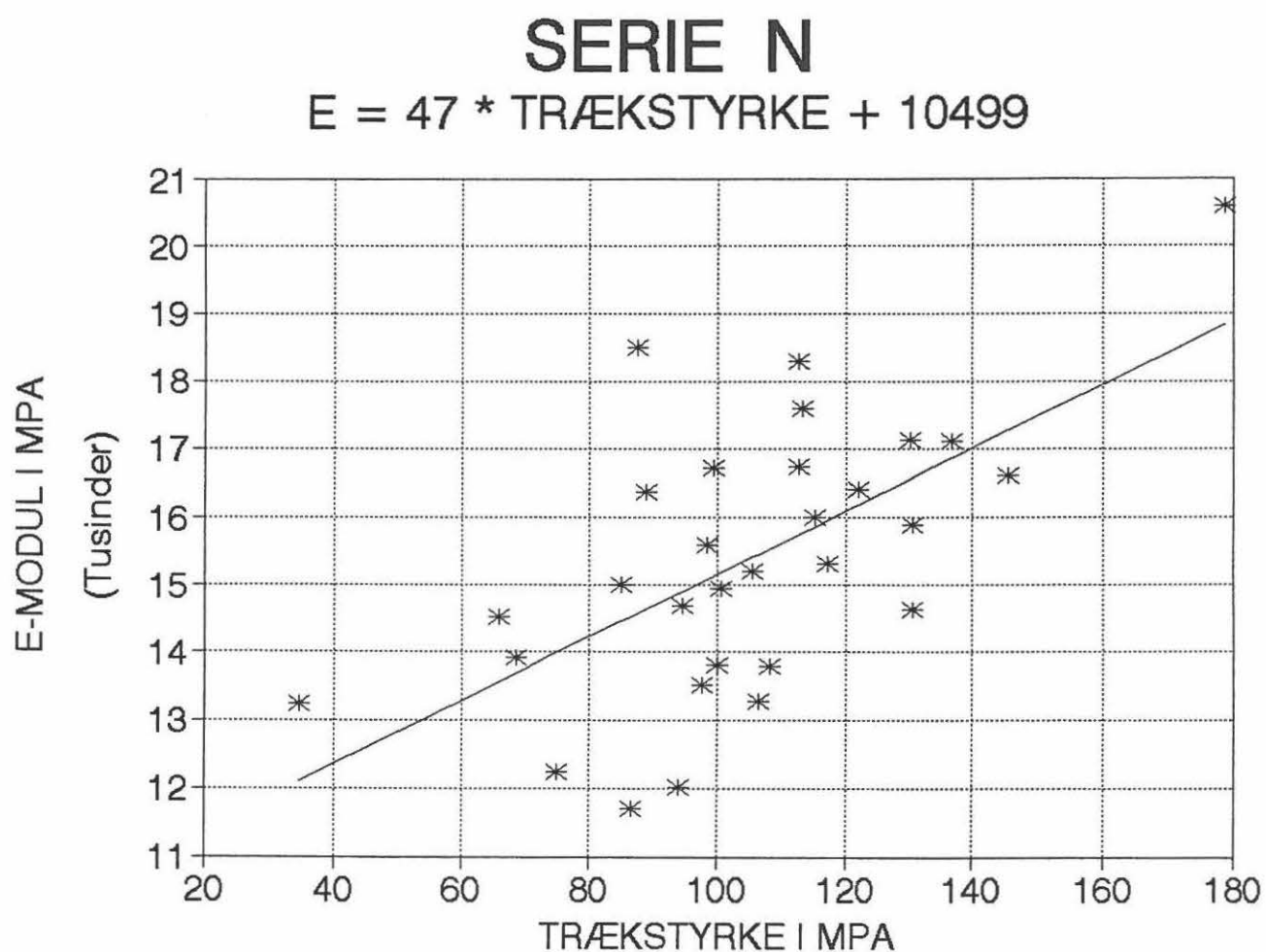
Middelværdi for trækstyrke: 104,7 MPa med en standardafv. på 26,6 MPa.

Middelværdi for E-modul: $1,54 \cdot 10^4$ MPa med en standardafv. på $0,20 \cdot 10^4$ MPa.

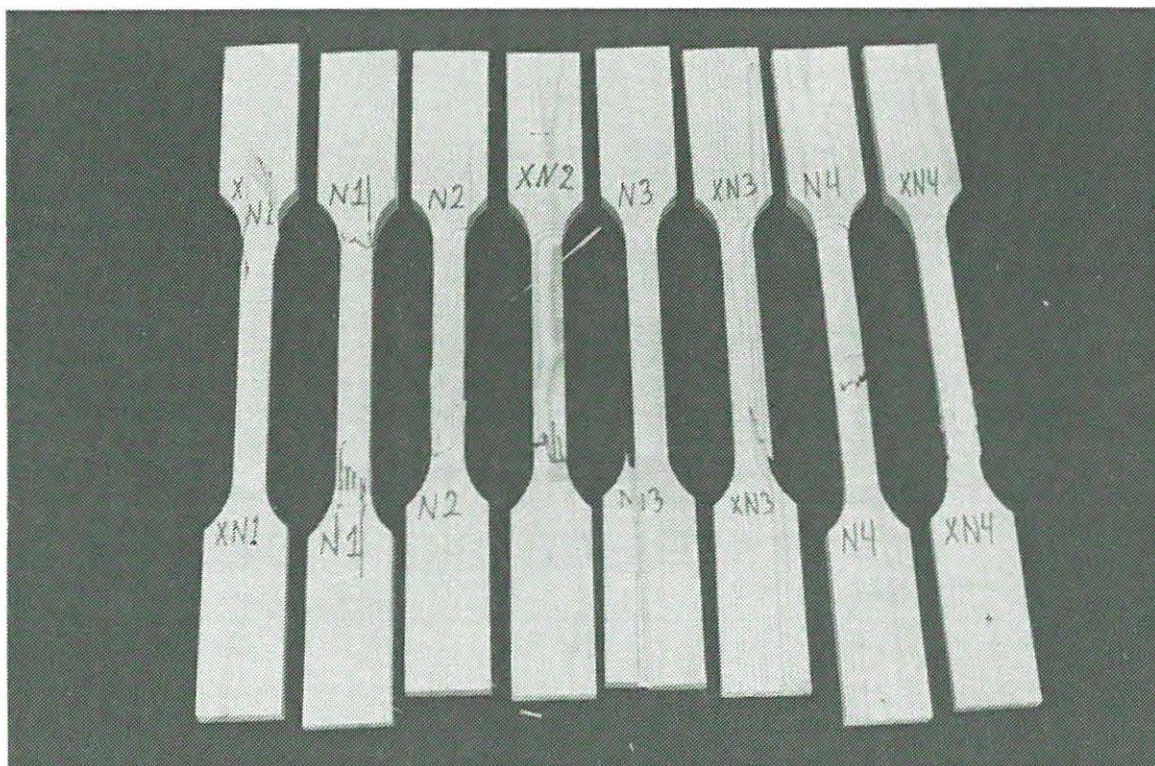
Middelværdi for flytning mellem kæber: 12,23 mm med en standardafv. på 7,55 mm.

Middelværdi for lasthastighed: 169 N/sek. med en standardafv. på 2 N/sek.

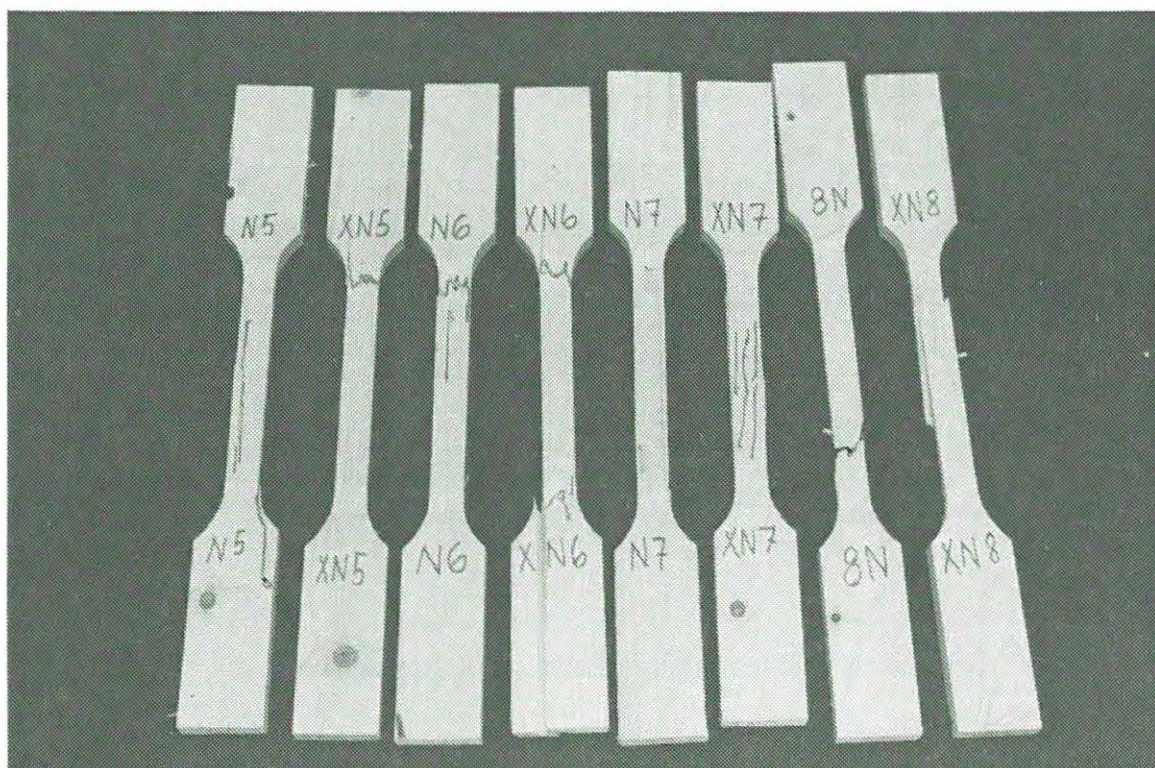
Middelværdi for fugtprocent: 11,5 med en standardafv. på 0,7.



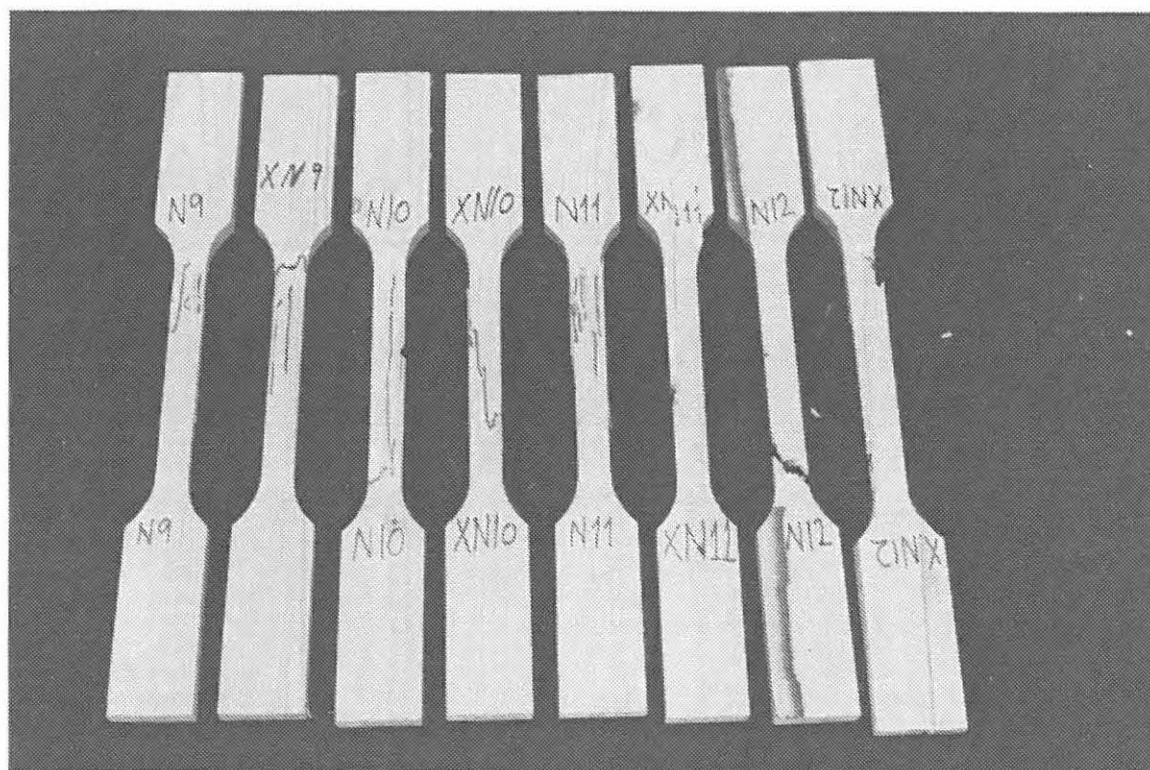
Figur 4.24 Graf visende E-modul som funktion af trækstyrke



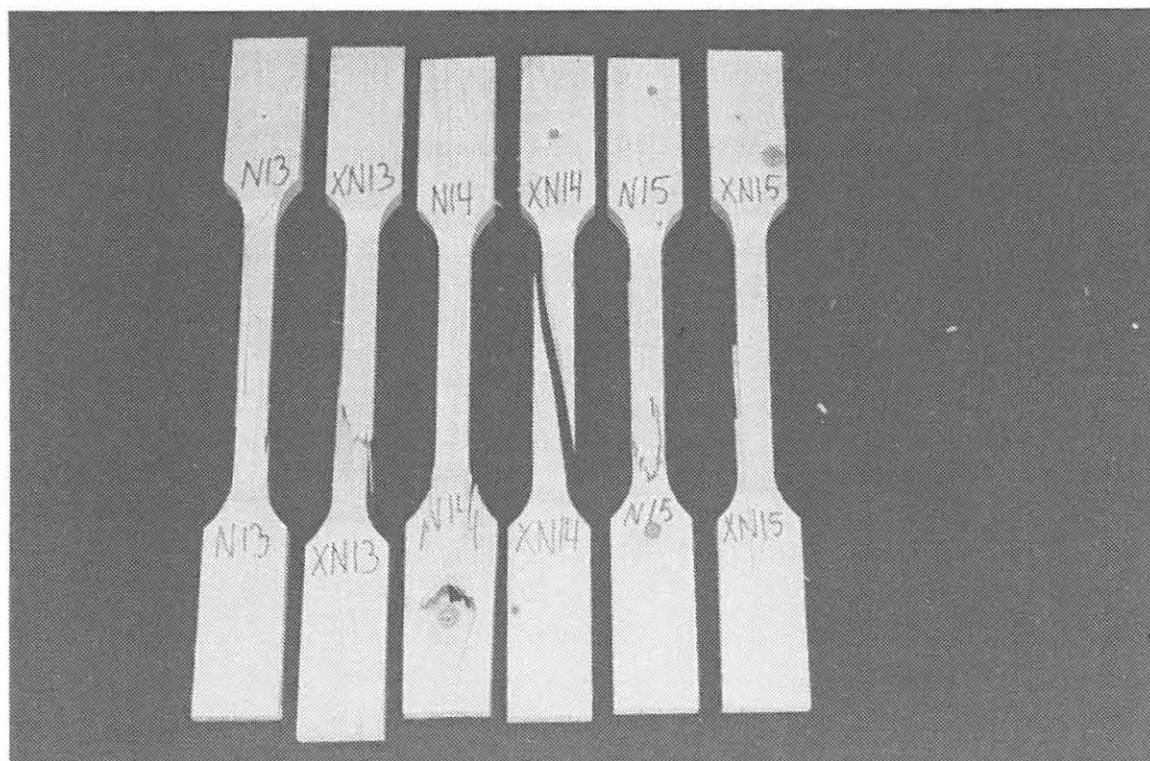
Figur 4.25 Foto af træprøver N01 - N04X



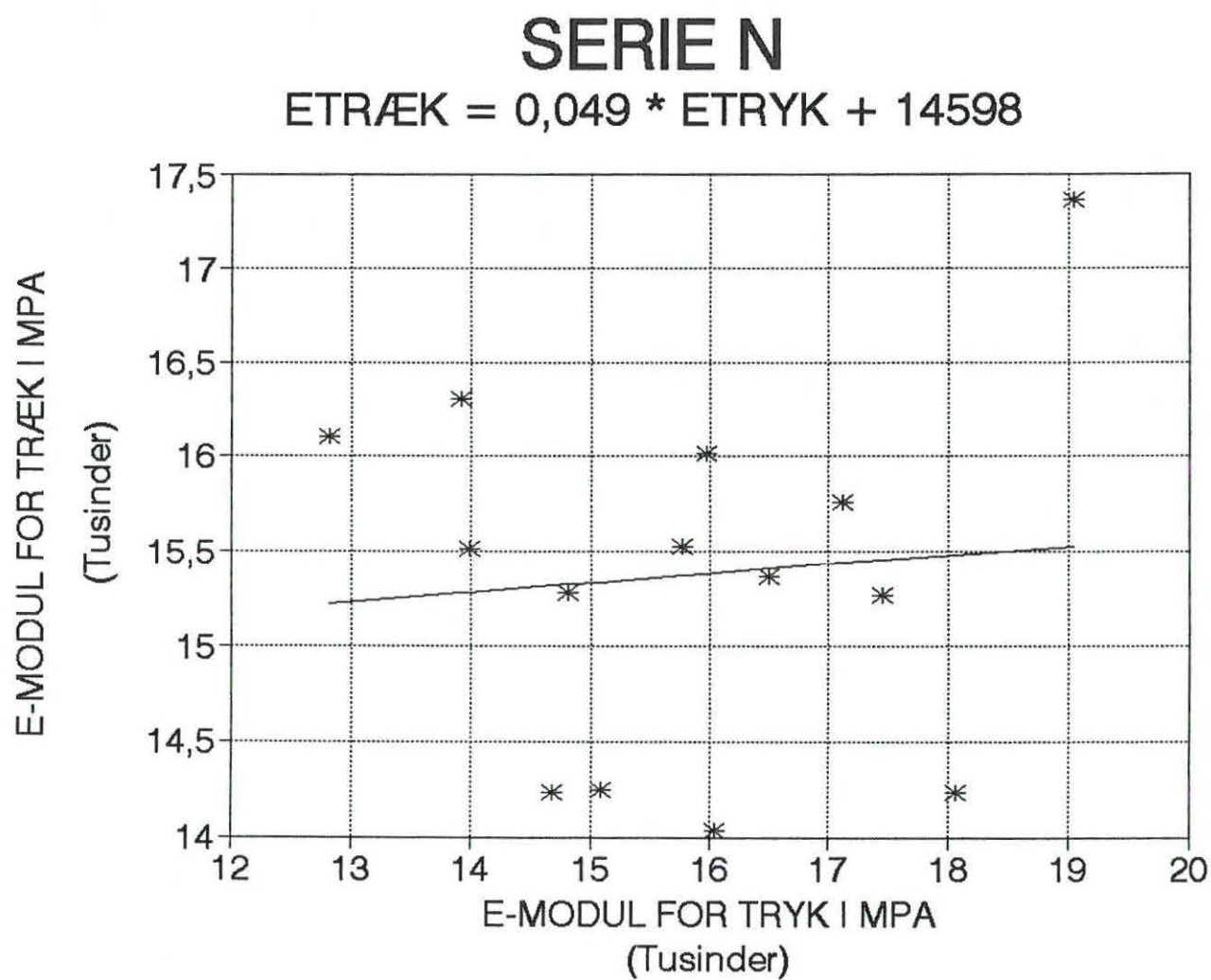
Figur 4.26 Foto af træprøver N05 - N08X



Figur 4.27 Foto af trækprøver N09 - N12X



Figur 4.28 Foto af trækprøver N13 - N15X



Figur 4.29 Graf visende $E_{\text{træk}}$ som funktion af E_{tryk}

5. SAMMENFATNING

I dette kapitel skal gives en oversigt og nogle konklusioner vedrørende de udførte enaksede tryk- og trækforsøg, hvor påvirkningen for alle forsøg har været parallel med fiberretningen.

5.1 Trykforsøgene

En oversigt over trykforsøgene er givet i skema 5.1.

Følgende konklusioner kan drages om trykforsøgene:

- * Den gennemsnitlige trykstyrke for de 3 serier er bestemt til næsten samme værdi.
- * Standardafvigelsen for trykstyrken for den enkelte serie er også praktisk taget ens, hvorved variationskoefficienten (standardafvigelse divideret med middelværdi) også bliver ret ens for de forskellige serier. Den laveste værdi er 0,041 for serie N og den største værdi er 0,065 for serie M.
- * Det gennemsnitlige E modul for de 3 serier er bestemt til næsten samme værdi.
- * Standardafvigelsen for E modulet for den enkelte serie er også temmelig ens således, at variationskoefficienten varierer mellem 0,108 for serie N og 0,142 for serie L.
- * Sammenhængen mellem E_{tryk} og trykstyrken, som er anført i kolonnen $E=f(\sigma)$, synes at variere en del, så nogen klar sammenhæng for de 3 forsøgsserier kan ikke angives.
- * Brudforlængelsen, her udtrykt som den maksimale flytning mellem prøvemaskinens trykplader, er bestemt til næsten samme værdi.
- * Standardafvigelsen for brudforlængelserne er også praktisk taget ens, hvorved variationskoefficienten varierer fra 0,143 for serie N til 0,200 for serie M.
- * Lasthastigheden for alle forsøgene varierede næsten ikke og har ligget på omkring 500 N/sek, hvilket svarer til ca. 0,32 MPa/sek.
- * Fugtprocenten har været næsten konstant på ca. 11% i gennemsnit. Der foretages derfor ikke nogen korrektion for fugt.
- * Forsøgsarrangementet, forsøgsafviklingen, dataopsamlingsudstyret og resultatbearbejdningen på PC'er har fungeret yderst tilfredsstillende og meget stabilt.

Serie	σ	std σ	var σ	E 10 ⁴	std E 10 ⁴	var E	E=f(σ)
	MPa	MPa		MPa	MPa		
L	50,1	2,9	0,058	1,55	0,22	0,142	406..4818
M	54,2	3,5	0,065	1,58	0,18	0,114	283..492
N	53,8	2,2	0,041	1,58	0,17	0,108	410..6300

Serie	Δ	std Δ	var Δ	Rate	Fugt%
	mm	mm		N/sek.	
L	1,57	0,30	0,191	520	11,2
M	1,50	0,30	0,200	487	10,9
N	1,40	0,20	0,143	494	10,9

Skema 5.1 **Oversigt over trykforsøg for serie L - N**

σ angiver trykstyrke

std betyder standardafvigelse

var betyder variationskoefficient

I kolonne E=f(σ) angiver første tal hældningen på ret linie og andet tal den konstante værdi i den lineære relation mellem E_{tryk} og trykstyrken.

Δ angiver den maksimale flytning mellem trykplader

Rate angiver lasthastigheden

5.2 Trækforsøgene

En oversigt over trækforsøgene er givet i skema 5.2.

Følgende konklusioner kan drages om trækforsøgene:

- * Den gennemsnitlige trækstyrke for de 3 serier varierer ikke særlig meget.
- * Standardafvigelsen for trækstyrken for den enkelte serie varierer heller ikke meget, men har en temmelig stor værdi, hvorved variationskoefficienten (standardafvigelse divideret med middelværdi) også bliver ret ens for de forskellige serier. Den laveste værdi er 0,207 for serie M og den største værdi er 0,254 for serie N.
Sammenlignes med variationskoefficienten for trykstyrken er der en faktor 4-5 til forskel.
- * Det gennemsnitlige E modul for de 3 serier er bestemt til næsten samme værdi.
- * Standardafvigelserne for E modulet varierer lidt, men har en temmelig stor værdi således, at variationskoefficienten varierer mellem 0,112 for serie M og 0,186 for serie L.
- * Sammenhængen mellem $E_{\text{træk}}$ og trækstyrken, som er anført i kolonnen $E=f(\sigma)$, synes at være mere klar end for trykforsøgenes vedkommende.
- * Brudforlængelsen, her udtrykt som den maksimale flytning mellem prøvemaskinens kæber, varierer en del. Bemærk, at der er tale om en ren formel størrelse, idet tværsnitsformen jo varierer.
- * Standardafvigelsen for brudforlængelsen varierer noget og antager en meget stor værdi, hvorved variationskoefficienten varierer fra 0,534 for serie M til 0,619 for serie N.
- * Lasthastigheden for alle forsøgene varierede næsten ikke og har ligget på omkring 170 N/sek, hvilket svarer til ca. 1,1 MPa/sek.
- * Fugtprocenten har været næsten konstant på ca. 11,5% i gennemsnit. Der foretages derfor ikke nogen korrektion for fugt.
- * Forsøgsarrangementet, forsøgsafviklingen, dataopsamlingsudstyret og resultatbearbejdningen på PC'er har fungeret yderst tilfredsstillende og meget stabilt.

Serie	σ	std σ	var σ	E 10 ⁴	std E 10 ⁴	var E	E=f(σ)
	MPa	MPa		MPa	MPa		
L	113,5	26,1	0,230	1,56	0,29	0,186	73..7250
M	116,7	24,2	0,207	1,69	0,19	0,112	42..12053
N	104,7	26,6	0,254	1,54	0,20	0,130	47..10499

Serie	Δ	std Δ	var Δ	Rate	Fugt%
	mm	mm		N/sek.	
L	13,2	7,21	0,546	171	11,4
M	13,7	7,31	0,534	170	11,6
N	12,2	7,55	0,619	169	11,5

Skema 5.2 **Oversigt over trækforsøg for serie L - N**

σ angiver trækstyrke

std betyder standardafvigelse

var betyder variationskoefficient

I kolonne E=f(σ) angiver første tal hældningen på ret linie og andet tal den konstante værdi i den lineære relation mellem $E_{\text{træk}}$ og trækstyrken

Δ angiver den maksimale flytning mellem prøvemaskinens kæber

Rate angiver lasthastigheden

5.3 Sammenligninger mellem tryk- og trækforsøg

I skema 5.3 er vist en oversigt over forholdet mellem middelværdier af styrker, E-moduler, og brudforlængelser.

Serie	$\sigma_{\text{træk}}/\sigma_{\text{tryk}}$	$E_{\text{træk}}/E_{\text{tryk}}$	$\Delta_{\text{træk}}/\Delta_{\text{tryk}}$
L	2,265	1,006	8,408
M	2,153	1,069	9,133
N	1,946	0,975	8,714

Skema 5.3 **Oversigt over tryk-og trækforsøg for serie L - N**

Det ses, at trækstyrken er en faktor 2,0 - 2,3 større end trykstyrken. Dette er en noget større værdi end bestemt både i delrapport 12 for serie A - K og i [3], hvor dette forhold er bestemt til 1,72.

Forholdet mellem E-modulerne ses af skema 5.3 at være omkring 1. Dette er ikke i overensstemmelse med [3], hvor dette forhold er bestemt til 1,36, men i god overensstemmelse med værdier bestemt i delrapport 12.

6. REFERENCER

- [1] L. Pilegaard Hansen & A. Rathkjen:
Indledende udmattelsesforsøg for laminerede limtræsbjælker. Serie 1 og 2.
Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter, R9036.
- [2] Arne Rathkjen & Lars Pilegaard Hansen:
Udmattelsesegenskaber for træ herunder lamineret limtræ.
Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter, Marts 1990.
- [3] M.P.Nielsen, A. Rathkjen og L.Pilegaard Hansen:
Rapport vedrørende "Brudbetingelse for træ".
København - Aalborg, 1978.
- [4] PC-MATLAB for MS-DOS Personal Computers. The MathWorks, Inc.,
Feb.1989.

